

عنوان البحث

تقييم مشاريع الصيانة الوقائية بنظام الأداء : دراسة تحليلية لقياس كفاءة إدارة الصيانة
في مشاريع البنية التحتية

إعداد الطالب: وليد أحمد محمود محمود مطاوع

إشراف :

د. الفيصل عبد الحميد

د. فايز جراد

العام الدراسي

2026

الحمد لله رب العالمين

إهداء

أهدي هذا العمل إلى أهلي وأسرتي الكريمة وأبي رحمة الله عليه، الذين كانوا سندي وداعمي الأول في مسيرتي فبفضل تشجيعهم ودعمهم المتواصل استطعت المضي قدماً نحو تحقيق هذا الإنجاز. كما انني أهدي هذا العمل إلى أساتذتي الكرام الذين كان لهم بالغ الأثر في دعمي خلال مسيرتي العلمية والعملية بما قدموه من علمٍ راسخ، وتوجيهٍ بَنَاء وإرشادٍ مستمر فكانوا منارةً أضاءت لي طريق المعرفة والبحث.

سُرَّةُ رَوْقَتِهِ

الحمد لله رب العالمين، الذي بنعمته تتم الصالحات، والصلاة والسلام على سيدنا محمد، وعلى آله وصحبه أجمعين.

أتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى الله سبحانه وتعالى، الذي وفقني وأعانني على إتمام هذه الدراسة، وأسأله أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به.

كما أتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى أستاذي المشرف الدكتور / د. الفیصل عبد الحمید _ د. فايز جراد ، على ما أولاني من رعاية علمية وتوجيهات سديدة، وما قدمه من دعم وتشجيع وملاحظات قيمة أسهمت في إنجاز هذه الرسالة وإخراجها بالصورة العلمية المرجوة.

ولا يفوتني أن أعبر عن خالص امتناني للجهات والمؤسسات والأفراد الذين تعاونوا معي في جمع البيانات، ولكل من شارك في تعبئة الاستبانة، وأسهم في إنجاح هذه الدراسة، فلهم مني جزيل الشكر والتقدير.

وأخص بالشكر أسرتي الكريمة، وعلى رأسهم والديَّ الكريمين، لما قدماه من دعم وتشجيع وصبر ودعاء مستمر.

حقوق الطباعة:

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

الباحث : وليد أحمد محمود مطاوع

فهرس المحتويات

الصفحة	المحتويات
أ	الإقرار
ب	الإهداء
ت	الشكر والتقدير
ث	حقوق الطباعة
ج	فهرس المحتويات
ح	قائمة الأشكال
خ	قائمة الجداول
د	الملخص
الفصل الأول: الإطار العام للدراسة	
2	1.1 مقدمة الدراسة
3	1.2 خلفية الدراسة
5	1.3 خلفية المشكلة
6	1.4 واقع إدارة الصيانة الوقائية في مشاريع البنية التحتية
8	1.5 الفجوة البحثية (Research Gap)
10	1.6 مشكلة الدراسة
11	1.7 أسئلة الدراسة
11	1.8 أهداف الدراسة
12	1.9 فرضيات الدراسة
13	1.10 أهمية الدراسة
14	1.11 حدود الدراسة
15	1.12 متغيرات الدراسة
17	1.13 التعريفات الإجرائية
17	1.14 هيكل الرسالة

الصفحة	الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة
19	2.1 إدارة الأصول
21	2.2 إدارة الصيانة
26	2.3 الصيانة الوقائية
30	2.4 نظام الأداء في إدارة الصيانة
33	2.5 مؤشرات الأداء في مشاريع الصيانة الوقائية
36	2.6 المعايير والنماذج العالمية لإدارة الأصول والصيانة
43	2.7 إدارة الصيانة المعتمدة على الاعتمادية
46	2.8 الصيانة المعتمدة على المخاطر
49	2.9 التحول الرقمي في إدارة الصيانة
50	2.10 التقنيات الذكية في إدارة الصيانة الحديثة
54	2.11 العقود القائمة على الأداء في مشاريع الصيانة
58	2.12 إدارة تكلفة دورة حياة الأصل
63	2.13 الدراسات السابقة
67	2.14 التحليل النقدي للدراسات السابقة
68	2.15 الفجوة البحثية النهائية
68	2.16 النموذج النظري للدراسة
68	2.16.1 الأساس النظري للنموذج
70	2.16.2 النموذج المفاهيمي للدراسة
71	ملخص الفصل الثاني

الصفحة	الفصل الثالث: منهجية الدراسة
73	3.1 تمهيد
73	3.2 منهج الدراسة
73	3.3 مجتمع الدراسة
73	3.4 عينة الدراسة
74	3.5 وحدة التحليل
74	3.6 مصادر جمع البيانات
74	3.4 أداة الدراسة (الاستبانة)
75	3.5 مقياس الدراسة
76	3.6 ثبات أداة الدراسة

الصفحة	الفصل الرابع: تحليل البيانات واختبار فرضيات الدراسة
78	4.1 تمهيد
78	4.2 تحليل البيانات الديموغرافية لأفراد العينة
79	4.2.1 توزيع أفراد العينة حسب الجنس
79	4.2.2 توزيع أفراد العينة حسب الفئة العمرية
79	4.2.3 توزيع أفراد العينة حسب المؤهل العلمي
80	4.2.4 توزيع أفراد العينة حسب سنوات الخبرة
80	4.2.5 توزيع أفراد العينة حسب جهة العمل
80	4.2.6 توزيع أفراد العينة حسب المسمى الوظيفي
81	4.3 التحليل الوصفي لمحاور الدراسة
81	4.3.1 المحور الأول: إدارة الأصول
82	4.3.2 المحور الثاني: الصيانة الوقائية القائمة على الأداء
82	4.3.3 المحور الثالث: مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs)
83	4.3.4 المحور الرابع: كفاءة إدارة الصيانة
84	4.3.5 المحور الخامس: التحول الرقمي وتقنيات إدارة الصيانة
84	4.4 المحور السادس: التقييم العام للنظام
85	4.5 اختبار فرضيات الدراسة
85	4.9 مناقشة نتائج الدراسة
86	4.10 ملخص الفصل
الصفحة	الفصل الخامس: النتائج والتوصيات
88	5.3 النتائج الرئيسية للدراسة
89	5.6 التوصيات
91	المراجع العربية
91	المراجع الأجنبية
92	الملاحق
95	Abstract

قائمة الأشكال

الفصل الأول

رقم الشكل	عنوان الشكل
شكل (1-1)	النموذج المفاهيمي للدراسة
شكل (2-1)	العلاقة بين متغيرات الدراسة
شكل (3-1)	الهيكل العام للرسالة

الفصل الثاني

رقم الشكل	عنوان الشكل
شكل (2-1)	دورة حياة الأصل (Asset Life Cycle)
شكل (2-2)	نظام إدارة الأصول وفق ISO 55000
شكل (2-3)	العلاقة بين إدارة الأصول وإدارة الصيانة
شكل (2-4)	تصنيف أنواع الصيانة
شكل (2-5)	دورة الصيانة الوقائية
شكل (2-6)	مراحل تطبيق نظام الصيانة القائم على الأداء
شكل (2-7)	نموذج إدارة الأداء في مشاريع الصيانة
شكل (2-8)	دورة التحسين المستمر (PDCA) في إدارة الصيانة
شكل (2-9)	هيكل مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs)
شكل (2-10)	العلاقة بين مؤشرات الأداء وكفاءة الأصول
شكل (2-11)	نموذج Reliability Centered Maintenance (RCM)
شكل (2-12)	نموذج Risk Based Maintenance (RBM)
شكل (2-13)	هيكل نظام إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS)
شكل (2-14)	مكونات نظام Enterprise Asset Management (EAM)
شكل (2-15)	نموذج التكامل بين BIM وإدارة الصيانة
شكل (2-16)	نموذج التوأم الرقمي (Digital Twin) في إدارة الأصول
شكل (2-17)	تطبيقات إنترنت الأشياء في مراقبة الأصول
شكل (2-18)	استخدام الذكاء الاصطناعي في الصيانة التنبؤية
شكل (2-19)	عناصر تكلفة دورة الحياة (Life Cycle Cost)

رقم الشكل	عنوان الشكل
شكل (2-20)	الإطار النظري للدراسة
شكل (2-21)	الإطار المقترح لتقييم مشاريع الصيانة الوقائية بنظام الأداء (IPPMF)

الفصل الثالث

رقم الشكل	عنوان الشكل
شكل (3-1)	خطوات تنفيذ الدراسة
شكل (3-2)	مراحل إعداد الاستبانة
شكل (3-3)	توزيع محاور الاستبانة
شكل (3-4)	منهجية جمع البيانات وتحليلها

الفصل الرابع

رقم الشكل	عنوان الشكل
شكل (4-1)	توزيع أفراد العينة حسب الجنس
شكل (4-2)	توزيع أفراد العينة حسب العمر
شكل (4-3)	توزيع أفراد العينة حسب المؤهل العلمي
شكل (4-4)	توزيع أفراد العينة حسب سنوات الخبرة
شكل (4-5)	توزيع أفراد العينة حسب المسمى الوظيفي
شكل (4-6)	توزيع أفراد العينة حسب جهة العمل
شكل (4-7)	المتوسطات الحسابية لمحاور الدراسة
شكل (4-8)	ترتيب محاور الدراسة
شكل (4-9)	نتائج اختبار الارتباط بين المتغيرات
شكل (4-10)	نموذج الانحدار الخطي للدراسة

الفصل الخامس

رقم الشكل	عنوان الشكل
شكل (5-1)	ملخص نتائج الدراسة
شكل (5-2)	خارطة طريق لتطبيق نظام الصيانة الوقائية القائم على الأداء
شكل (5-3)	النموذج المقترح لتحسين كفاءة إدارة الصيانة في مشاريع البنية التحتية

قائمة الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول
جدول (1-1)	أهداف الدراسة وعلاقتها بأسئلة الدراسة
جدول (1-2)	متغيرات الدراسة المستقلة والتابعة
جدول (1-3)	التعريفات الإجرائية لمصطلحات الدراسة

الفصل الثاني

رقم الجدول	عنوان الجدول
جدول (2-1)	تعريفات إدارة الأصول وفق الأدبيات العلمية
جدول (2-2)	مبادئ إدارة الأصول وفق ISO 55000
جدول (2-3)	مقارنة بين المواصفات ISO 55000 و ISO 55001 و ISO 55002
جدول (2-4)	مراحل دورة حياة الأصل
جدول (2-5)	مقارنة بين أنواع الصيانة
جدول (2-6)	خصائص الصيانة الوقائية
جدول (2-7)	مقارنة بين الصيانة الوقائية والتصحيحية والتنبؤية
جدول (2-8)	عناصر نظام الصيانة القائم على الأداء
جدول (2-9)	أهم مؤشرات الأداء المستخدمة في مشاريع الصيانة
جدول (2-10)	مؤشرات أداء الأصول
جدول (2-11)	مؤشرات كفاءة إدارة الصيانة
جدول (2-12)	مقارنة بين العقود التقليدية والعقود القائمة على الأداء
جدول (2-13)	مراحل تطبيق نظام الأداء في مشاريع البنية التحتية
جدول (2-14)	مزايا وعيوب نظم CMMS
جدول (2-15)	تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة
جدول (2-16)	مقارنة بين BIM و Digital Twin
جدول (2-17)	مؤشرات تكلفة دورة الحياة (Life Cycle Cost)
جدول (2-18)	مقارنة بين Reliability Centered Maintenance و Risk Based Maintenance
جدول (2-19)	ملخص الدراسات العربية السابقة
جدول (2-20)	ملخص الدراسات الأجنبية السابقة
جدول (2-21)	المقارنة بين الدراسات السابقة والدراسة الحالية

الفصل الثالث

رقم الجدول	عنوان الجدول
جدول (3-1)	مجتمع الدراسة
جدول (3-2)	توزيع عينة الدراسة
جدول (3-3)	توزيع فقرات الاستبانة على محاور الدراسة
جدول (3-4)	مقياس ليكرت الخماسي المستخدم في الدراسة
جدول (3-5)	تفسير المتوسطات الحسابية
جدول (3-6)	نتائج صدق أداة الدراسة
جدول (3-7)	معاملات الثبات (Cronbach's Alpha) لمحاور الدراسة
جدول (3-8)	الأساليب الإحصائية المستخدمة في الدراسة

الفصل الرابع

رقم الجدول	عنوان الجدول
جدول (4-1)	توزيع أفراد العينة حسب الجنس
جدول (4-2)	توزيع أفراد العينة حسب العمر
جدول (4-3)	توزيع أفراد العينة حسب المؤهل العلمي
جدول (4-4)	توزيع أفراد العينة حسب سنوات الخبرة
جدول (4-5)	توزيع أفراد العينة حسب المسمى الوظيفي
جدول (4-6)	توزيع أفراد العينة حسب جهة العمل
جدول (4-7)	المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للمحور الأول
جدول (4-8)	المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للمحور الثاني
جدول (4-9)	المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للمحور الثالث
جدول (4-10)	المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للمحور الرابع
جدول (4-11)	المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للمحور الخامس
جدول (4-12)	المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للمحور السادس
جدول (4-13)	ترتيب محاور الدراسة حسب المتوسطات الحسابية
جدول (4-14)	نتائج اختبار معاملات الارتباط (Pearson Correlation)
جدول (4-15)	نتائج اختبار الانحدار الخطي (Model Summary)

رقم الجدول	عنوان الجدول
جدول (4-16)	نتائج تحليل التباين (ANOVA)
جدول (4-17)	نتائج معاملات الانحدار (Regression Coefficients)
جدول (4-18)	ملخص نتائج اختبار فرضيات الدراسة

الفصل الخامس

رقم الجدول	عنوان الجدول
جدول (5-1)	ملخص النتائج الرئيسية للدراسة
جدول (5-2)	ربط نتائج الدراسة بالأهداف والفرضيات
جدول (5-3)	التوصيات المقترحة وآليات تنفيذها

قائمة المصطلحات

المصطلح بالإنجليزية	المصطلح بالعربية
Asset Management	إدارة الأصول
Asset Life Cycle	دورة حياة الأصل
Asset Maintenance Management	إدارة صيانة الأصول
Preventive Maintenance (PM)	الصيانة الوقائية
Corrective Maintenance (CM)	الصيانة التصحيحية
Predictive Maintenance (PdM)	الصيانة التنبؤية
Condition-Based Maintenance (CBM)	الصيانة المعتمدة على الحالة
Risk-Based Maintenance (RBM)	الصيانة المعتمدة على المخاطر
Performance-Based Maintenance (PBM)	الصيانة القائمة على الأداء
Performance-Based Contracts (PBC)	العقود القائمة على الأداء
Key Performance Indicators (KPIs)	مؤشرات الأداء الرئيسية
Performance Management	إدارة الأداء
Facility Management (FM)	إدارة المرافق
Life Cycle Cost (LCC)	تكلفة دورة الحياة
Reliability	الاعتمادية
Availability	الإتاحة التشغيلية
Failure Rate	معدل الفشل
Mean Time Between Failures (MTBF)	متوسط الزمن بين الأعطال
Mean Time To Repair (MTTR)	متوسط زمن الإصلاح
Computerized Maintenance Management System (CMMS)	نظام إدارة الصيانة المحسوب
Enterprise Asset Management (EAM)	إدارة الأصول المؤسسية
Digital Transformation	التحول الرقمي
Digital Twin	التوأم الرقمي
Internet of Things (IoT)	إنترنت الأشياء
Artificial Intelligence (AI)	الذكاء الاصطناعي
Asset Information System (AIS)	نظام معلومات الأصول
Geographic Information System (GIS)	نظام المعلومات الجغرافية
Building Information Modeling (BIM)	نمذجة معلومات البناء
Risk Management	إدارة المخاطر
Sustainability	الاستدامة
Maintenance Efficiency	كفاءة الصيانة

قائمة الاختصارات

الاختصار

AI	Artificial Intelligence
AHP	Analytic Hierarchy Process
AIS	Asset Information System
AM	Asset Management
BIM	Building Information Modeling
BMS	Building Management System
CBM	Condition-Based Maintenance
CM	Corrective Maintenance
CMMS	Computerized Maintenance Management System
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
EAM	Enterprise Asset Management
FM	Facility Management
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
GIS	Geographic Information System
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Intelligent Transportation Systems
KPI	Key Performance Indicator
LCC	Life Cycle Cost
LCM	Life Cycle Management
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair
OEE	Overall Equipment Effectiveness
PAS 55	Publicly Available Specification 55
PBM	Performance-Based Maintenance
PBC	Performance-Based Contract
PdM	Predictive Maintenance
PI	Performance Indicator
PM	Preventive Maintenance
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PMI	Project Management Institute
QA	Quality Assurance
QC	Quality Control
RBM	Risk-Based Maintenance
RCM	Reliability-Centered Maintenance

الملخص

تمثل الأصول الخاصة بالبنية التحتية أحد أهم الاستثمارات ، مما يستلزم تطبيق استراتيجيات صيانة فعالة تضمن استدامتها، ورفع كفاءتها التشغيلية، وتعزيزها على المدى الطويل. وتعتمد أساليب الصيانة التقليدية غالبًا على الصيانة التصحيحية أو الجداول الزمنية الثابتة، الأمر الذي قد يؤدي إلى ارتفاع تكاليف التشغيل والصيانة، وزيادة الأعطال المفاجئة، وضعف كفاءة استغلال الموارد، ومن هذا المنطلق، برز نظام **الصيانة الوقائية القائم على الأداء** بوصفه أحد المداخل الحديثة في إدارة الصيانة إذ يعتمد على مؤشرات الأداء، ومراقبة حالة الأصول، وتحليل البيانات، لدعم اتخاذ القرارات وتحسين كفاءة أعمال الصيانة.

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم فاعلية تطبيق نظام الصيانة الوقائية القائم على الأداء، وقياس أثره في تحسين كفاءة إدارة الصيانة في مشاريع البنية التحتية، كما سعت إلى دراسة تأثير كل من التخطيط القائم على الأداء، وكفاءة تنفيذ أعمال الصيانة، وكفاءة استخدام الموارد، والتحول الرقمي وأداء الأصول، في تحسين كفاءة إدارة الصيانة. اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، واستخدمت الاستبانة أداة رئيسة لجمع البيانات من عينة من المختصين والعاملين في مجال إدارة وصيانة مشاريع البنية التحتية. وتكونت الاستبانة من ستة محاور رئيسة، شملت التخطيط القائم على الأداء، وكفاءة تنفيذ الصيانة، وكفاءة استخدام الموارد، والتحول الرقمي ودعم اتخاذ القرار، وأداء الأصول، والتقييم العام للنظام. وتم تحليل البيانات باستخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية المناسبة، شملت الإحصاء الوصفي، ومعامل الثبات، ومعامل ارتباط بيرسون، وتحليل الانحدار الخطي.

وأظهرت نتائج الدراسة أن تطبيق نظام الصيانة الوقائية القائم على الأداء يسهم بصورة فاعلة في تحسين التخطيط لأعمال الصيانة، ورفع كفاءة استغلال الموارد، وتقليل الأعطال، وتعزيز موثوقية الأصول، وتحسين الأداء التشغيلي لمشاريع البنية التحتية. كما بينت النتائج وجود علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين تطبيق نظام الصيانة القائم على الأداء وكفاءة إدارة الصيانة. وأكدت الدراسة كذلك أهمية توظيف التقنيات الرقمية، مثل أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS) ، ومؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) ، وأنظمة دعم القرار، في تعزيز كفاءة إدارة الصيانة وتحسين أداء الأصول. وفي ضوء النتائج، أوصت الدراسة بتبني إطار متكامل لإدارة الصيانة الوقائية قائم على الأداء ومتوافق مع متطلبات المواصفة الدولية **ISO 55000** لإدارة الأصول، والتوسع في استخدام الأنظمة الرقمية لإدارة الصيانة، وتطوير مؤشرات أداء موحدة لتقييم مشاريع صيانة البنية التحتية، إلى جانب تعزيز تطبيق تقنيات الصيانة التنبؤية المدعومة بالذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، بما يسهم في رفع كفاءة إدارة الأصول وتحقيق الاستدامة التشغيلية.

الكلمات المفتاحية :

الصيانة الوقائية القائمة على الأداء، إدارة الصيانة، مشاريع البنية التحتية، إدارة الأصول، العقود القائمة على الأداء، مؤشرات الأداء الرئيسية، المواصفة الدولية ISO 55000 ، أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS) ، التحول الرقمي، أداء الأصول.

الفصل الأول – المقدمة

مدخل الدراسة

1.1 مقدمة الدراسة

يشهد العالم في العقود الأخيرة تحولاً جذرياً في فلسفة إدارة مشاريع البنية التحتية نتيجة النمو المتسارع في الاستثمارات الحكومية وارتفاع الطلب على الخدمات العامة، وتزايد الحاجة إلى تحقيق الاستدامة الاقتصادية وكذلك الإستدامة البيئية. ولم تعد مشاريع البنية التحتية تقتصر على إنشاء الطرق والجسور وشبكات المياه والصرف الصحي والمرافق العامة، بل أصبحت تمثل أصولاً استراتيجية ذات قيمة اقتصادية واجتماعية كبيرة، تتطلب تطبيق نظم إدارية متقدمة تضمن المحافظة على كفاءتها التشغيلية طوال دورة حياتها، وتعظيم العائد من الاستثمارات المخصصة لها.

وتعد إدارة الأصول (Asset Management) من المفاهيم الإدارية الحديثة التي حظيت باهتمام واسع خلال السنوات الأخيرة، ممارسة استراتيجية تهدف إلى تحقيق أقصى قيمة من الموارد المادية وغير المادية للمؤسسة طوال دورة حياته حيث تهدف إلى تحقيق التوازن بين الأداء والتكلفة والمخاطر والاستدامة، بما يضمن المحافظة على قيمة الأصل وتعظيم الاستفادة منه طوال عمره التشغيلي. وقد أسهم إصدار سلسلة المواصفات الدولية ISO 55000 في إرساء إطار عالمي لإدارة الأصول، يركز على التخطيط الاستراتيجي، وإدارة المخاطر، والتحسين المستمر، وربط القرارات التشغيلية بالأهداف المؤسسية.

وفي هذا الإطار، تمثل الصيانة أحد أهم المحاور الرئيسة لإدارة الأصول، لما لها من دور مباشر في المحافظة على جاهزية الأصول واستمرارية تشغيلها وتقليل احتمالية الأعطال المفاجئة وقد تطورت أساليب وفلسفة الصيانة بصورة واضحة إذ انتقلت من الاعتماد على الصيانة التصحيحية التي تتم بعد وقوع الأعطال إلى الصيانة الوقائية التي تعتمد على برامج مخططة، ثم إلى الصيانة التنبؤية والصيانة الذكية التي تستخدم تقنيات تحليل البيانات والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء للتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها.

ورغم هذا التطور، ما زالت العديد من الجهات المالكة للبنية التحتية تعتمد في تقييم مشاريع الصيانة على مؤشرات تقليدية، مثل عدد أوامر العمل المنجزة أو الالتزام بالميزانية والبرنامج الزمني، دون قياس الأثر الحقيقي لهذه الأعمال في تحسين أداء الأصل أو رفع كفاءته التشغيلية. وقد أدى ذلك إلى وجود فجوة بين حجم الإنفاق على الصيانة والنتائج الفعلية المتحققة، الأمر الذي يستدعي تطوير نماذج تقييم تعتمد على الأداء الفعلي للأصول، وليس على حجم الأنشطة المنفذة فقط.

ومن هذا المنطلق ظهر مفهوم نظام الأداء (Performance-Based System) بوصفه أحد الأساليب الحديثة في إدارة الصيانة، حيث يعتمد على ربط برامج الصيانة بمجموعة من مؤشرات الأداء الرئيسية (Key Performance Indicators) التي تقيس الاعتمادية، والتوافرية، والاستجابة، وكفاءة استخدام الموارد، ومستوى جودة الخدمة، ورضا المستفيدين، بما يحقق الانتقال من إدارة الأنشطة إلى إدارة النتائج.

وتشير الدراسات والمراجعات السابقة إلى أن المؤسسات التي تطبق نظم الصيانة القائمة على الأداء تحقق مستويات أعلى من الكفاءة التشغيلية، وانخفاضاً في معدلات الأعطال، وتحسناً في العمر الافتراضي للأصول، إضافة إلى ترشيد الإنفاق على الصيانة وتحسين القدرة على اتخاذ القرارات المبنية على البيانات. كما تسهم هذه النظم في رفع مستوى الشفافية والمساءلة، وربط نتائج عقود الصيانة بالمرجات الفعلية بدلاً من الاقتصار على قياس حجم الأعمال المنفذة.

وفي ضوء ما سبق، تأتي هذه الدراسة لتطوير إطار علمي وتحليلي يهدف إلى تقييم مشاريع الصيانة الوقائية وفق نظام أداء متكامل، من خلال تحليل العلاقة بين تطبيق مؤشرات الأداء وكفاءة إدارة الصيانة في مشاريع البنية التحتية، بما يسهم في دعم متخذي القرار، وتعزيز استدامة الأصول، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، وتقديم نموذج تطبيقي يمكن الاستفادة منه في الجهات الحكومية والمؤسسات المسؤولة عن إدارة وصيانة البنية التحتية.

1.2 خلفية الدراسة

شهدت العقود السابقة توسعاً كبيراً في الاستثمارات الموجهة إلى إنشاء مشاريع البنية التحتية، مدفوعاً بالنمو السكاني والتوسع العمراني وقد انعكس هذا في زيادة عدد الأصول التي تتطلب برامج تشغيل وصيانة مستمرة، مما أدى إلى ارتفاع حجم الإنفاق السنوي على أعمال الصيانة، وأصبح الحفاظ على الأصول القائمة يمثل تحدياً لا يقل أهمية عن إنشاء أصول جديدة.

وقد أثبتت التجارب الدولية أن تكلفة إهمال الصيانة الوقائية تتجاوز بكثير تكلفة تنفيذها، حيث تؤدي الأعطال المفاجئة إلى تعطيل الخدمات، وارتفاع تكاليف الإصلاح، وتقليص العمر التشغيلي للأصول، وزيادة المخاطر المتعلقة بالسلامة العامة. لذلك اتجهت المؤسسات المتقدمة إلى تبني استراتيجيات صيانة استباقية تعتمد على التخطيط، وتحليل البيانات، وقياس الأداء بصورة مستمرة.

وفي المقابل، أدت الثورة الرقمية إلى إحداث تحول كبير في إدارة الصيانة، حيث أصبح بالإمكان استخدام أنظمة إدارة الأصول المحوسبة (CMMS)، وتقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وتحليل البيانات الضخمة، لتوفير معلومات دقيقة عن حالة الأصل، والتنبؤ بالأعطال، ودعم قرارات الصيانة بصورة أكثر كفاءة.

ورغم هذا التطور، فإن نجاح برامج الصيانة لا يعتمد على التكنولوجيا وحدها، وإنما يعتمد أيضاً على وجود نظام متكامل لقياس الأداء يربط بين أهداف المؤسسة، وبرامج الصيانة، والنتائج التشغيلية للأصول. ومن هنا أصبحت مؤشرات الأداء الرئيسية أحد أهم أدوات الإدارة الحديثة، لما توفره من معلومات كمية تساعد على تقييم كفاءة الأداء، والكشف عن الانحرافات، وتوجيه الموارد نحو الأنشطة ذات الأولوية.

وفي بيئة مشاريع البنية التحتية، تبرز الحاجة إلى هذا النوع من التقييم بصورة أكبر، نظراً لارتفاع قيمة الأصول، وطول دورة حياتها، وتأثيرها المباشر في الاقتصاد والمجتمع. لذلك تسعى هذه الدراسة إلى سد فجوة معرفية وتطبيقية تتمثل في تطوير نموذج لتقييم مشاريع الصيانة الوقائية يعتمد على نظام الأداء، بما يتماشى مع أفضل الممارسات الدولية في إدارة الأصول وإدارة الصيانة.

جدول (1-1)

تطور فلسفة إدارة الصيانة

المرحلة	الهدف	الخصائص الرئيسية
الصيانة التصحيحية	إعادة الأصل للخدمة	إصلاح الأعطال بعد حدوثها
الصيانة الوقائية	تقليل الأعطال	تنفيذ برامج صيانة دورية مخططة
الصيانة التنبؤية	التنبؤ بالأعطال	مراقبة حالة الأصل وتحليل البيانات
الصيانة المعتمدة على الاعتمادية	رفع الاعتمادية	تحليل المخاطر والأهمية التشغيلية
الصيانة المعتمدة على الأداء	تعظيم قيمة الأصل	ربط الصيانة بمؤشرات أداء قابلة للقياس

شكل (1-1) العلاقة بين نظام الأداء وإدارة الصيانة



1.3 خلفية المشكلة (Background of the Problem)

شهدت العقود الثلاثة الأخيرة توسعًا كبيرًا في حجم الاستثمارات الموجهة إلى تطوير مشاريع البنية التحتية على المستويين الإقليمي والدولي، حيث أصبحت هذه المشاريع تمثل أحد أهم محركات النمو الاقتصادي وتحقيق التنمية المستدامة. وقد رافق هذا التوسع ارتفاع كبير في قيمة الأصول الحكومية، الأمر الذي جعل المحافظة عليها واستدامة كفاءتها التشغيلية أحد التحديات الرئيسية التي تواجه الحكومات والجهات المالكة للأصول.

وتشير التقارير الدولية إلى أن الإنفاق على إنشاء البنية التحتية لا يحقق أهدافه التنموية بصورة كاملة ما لم يصاحبه نظام متكامل لإدارة الأصول والمحافظة عليها طوال دورة حياتها. فالأصل الذي لا تتم صيانتته بصورة علمية يفقد جزءًا كبيرًا من قيمته التشغيلية خلال فترة زمنية قصيرة، مما يؤدي إلى زيادة تكاليف الإصلاح والإحلال، وانخفاض جودة الخدمات، وارتفاع احتمالية الأعطال والانقطاعات، الأمر الذي ينعكس سلبيًا على الاقتصاد الوطني وجودة الحياة.

وقد أدى ذلك إلى تغير جوهري في طرق إدارة الصيانة، حيث أصبحت المؤسسات المتقدمة تنظر إلى الصيانة باعتبارها استثمارًا طويل الأجل في المحافظة على قيمة الأصل، وليس مجرد نشاط تشغيلي أو بند إنفاق بصورة دورية وأصبح الهدف الرئيس لإدارة الصيانة يتمثل في تحقيق أعلى مستوى من الجاهزية التشغيلية، مع أقل تكلفة ممكنة، وبما يضمن استمرارية الخدمة وتحقيق الاستدامة.

وفي المقابل لا تزال العديد من المؤسسات تعتمد على نظم تقليدية لتقييم مشاريع الصيانة، تركز بصورة رئيسة على قياس المدخلات والأنشطة، مثل عدد أوامر العمل المنفذة، أو قيمة العقود، أو نسبة الإنجاز الزمني، بينما تهمل قياس المخرجات الفعلية المتمثلة في تحسن أداء الأصل، أو انخفاض الأعطال، أو زيادة العمر التشغيلي، أو تحسين رضا المستفيدين. وقد نتج عن ذلك وجود فجوة واضحة بين حجم الموارد المالية المخصصة للصيانة وبين القيمة التشغيلية المتحققة للأصول، حيث قد تنفذ جميع الأعمال المخطط لها، إلا أن الأصل لا يحقق مستوى الأداء المستهدف نتيجة غياب منظومة شاملة لقياس الأداء والمتابعة المستمرة والتحسين.

وفي ظل هذا الواقع، اتجهت العديد من الدول والمؤسسات العالمية إلى تبني مفهوم الصيانة القائمة على الأداء (**Performance-Based Maintenance**) الذي يعتمد على ربط أعمال الصيانة بمجموعة من مؤشرات الأداء الرئيسية، بحيث تصبح جودة النتائج التشغيلية هي الأساس في تقييم نجاح برامج الصيانة، وليس مجرد تنفيذ الأعمال المجدولة.

ويتميز هذا المفهوم بقدرته على تعزيز كفاءة إدارة الأصول من خلال ربط التخطيط والتنفيذ والرقابة والتحسين المستمر ضمن إطار إداري موحد، يعتمد على البيانات والتحليل الكمي في اتخاذ القرارات، الأمر الذي يساهم في رفع كفاءة استخدام الموارد المالية والبشرية، وتقليل الأعطال المفاجئة، وتحسين استدامة الأصول.

ومن هنا تنطلق الدراسة الحالية من الحاجة إلى تطوير نموذج علمي متكامل لتقييم مشاريع الصيانة الوقائية وفق نظام الأداء، بحيث يساهم في قياس الأثر الفعلي لبرامج الصيانة على كفاءة إدارة الأصول، ويقدم إطارًا عمليًا يمكن تطبيقه في مشاريع البنية التحتية.

1.4 واقع إدارة الصيانة الوقائية في مشاريع البنية التحتية

أصبحت الصيانة الوقائية تمثل أحد العناصر الأساسية في منظومة إدارة الأصول الحديثة، لما لها من دور مباشر في المحافظة على كفاءة الأصول واستمرارية تشغيلها وتحقيق الاستدامة الاقتصادية. وقد انتقلت المؤسسات العالمية خلال السنوات الأخيرة من الاعتماد على الصيانة التصحيحية إلى تطبيق برامج صيانة وقائية مخططة، تستند إلى تحليل البيانات التشغيلية، ومراقبة حالة الأصل، واستخدام تقنيات التنبؤ بالأعطال.

ورغم هذا ، فإن التطبيق العملي للصيانة الوقائية يواجه العديد من التحديات، من أبرزها محدودية التكامل بين أنظمة المعلومات، وضعف استخدام مؤشرات الأداء في متابعة نتائج الصيانة، وعدم وجود قواعد بيانات دقيقة عن حالة الأصول، إضافة إلى غياب النماذج الموحدة التي تربط بين التخطيط والتنفيذ وقياس الأداء.

وتتعرض هذه التحديات بصورة مباشرة على كفاءة إدارة الصيانة، حيث يؤدي ضعف التخطيط أو عدم دقة البيانات إلى تنفيذ أعمال صيانة لا تحقق القيمة التشغيلية المطلوبة، أو إلى تأخير التدخلات الفنية، أو زيادة معدلات الأعطال المفاجئة، مما يرفع من تكلفة دورة حياة الأصل ويؤثر في جودة الخدمات المقدمة.

كما أن التحول نحو المدن الذكية والبنية التحتية الرقمية فرض متطلبات جديدة على إدارة الصيانة، تتمثل في ضرورة استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، والتحليلات التنبؤية، وأنظمة إدارة الأصول الرقمية، بهدف تحسين دقة اتخاذ القرار، ورفع مستوى كفاءة الصيانة، وتحقيق الاستفادة القصوى من البيانات التشغيلية.

ومن ثم أصبح نجاح برامج الصيانة الوقائية يعتمد على تكامل ثلاثة عناصر رئيسية هي: **التخطيط العلمي، ونظام قياس الأداء، والتحسين المستمر**. ولا يمكن تحقيق نتائج مستدامة في غياب أحد هذه العناصر، الأمر الذي يبرز أهمية تطوير إطار متكامل يجمع بينها في منظومة واحدة.

جدول(1-2) : أبرز التحديات التي تواجه إدارة الصيانة الوقائية في مشاريع البنية التحتية

التحدي	الأثر على المشروع
ضعف التخطيط الاستراتيجي	انخفاض كفاءة تنفيذ برامج الصيانة
محدودية البيانات التشغيلية	ضعف دقة اتخاذ القرار
غياب مؤشرات الأداء	صعوبة تقييم النتائج
الاعتماد على الصيانة التصحيحية	ارتفاع تكاليف التشغيل
نقص التكامل الرقمي	بطء الاستجابة للأعطال
ضعف إدارة المخاطر	زيادة احتمالية الفشل التشغيلي
محدودية برامج التحسين المستمر	انخفاض استدامة الأداء

شكل(1-2) دورة تحسين إدارة الصيانة الوقائية وفق نظام الأداء



1.5 الفجوة البحثية (Research Gap)

تعد الفجوة البحثية من أهم الركائز التي تستند إليها الدراسات العلمية، إذ تمثل المبرر الرئيسي لإجراء الدراسة وتوضح الإضافة العلمية المتوقعة مقارنةً بما توصلت إليه الدراسات السابقة ومن خلال مراجعة الأدبيات المتعلقة بإدارة الأصول، والصيانة الوقائية، وإدارة الأداء، وإدارة مشاريع البنية التحتية، يتبين أن هناك تطورًا واضحًا في تناول كل مجال بصورة مستقلة، إلا أن التكامل بين هذه المجالات لا يزال محدودًا، الأمر الذي يبرز الحاجة إلى إجراء دراسات أكثر شمولًا تربط بين هذه المفاهيم ضمن إطار علمي واحد.

وقد ركزت غالبية الدراسات على قياس كفاءة الصيانة من خلال مؤشرات تشغيلية منفردة، مثل معدل الأعطال أو متوسط زمن الإصلاح أو تكاليف الصيانة، بينما تناولت دراسات أخرى موضوع إدارة الأصول من منظور استراتيجي في حين اهتمت مجموعة ثالثة بتطبيق مؤشرات الأداء في المؤسسات الخدمية والإنتاجية إلا أن الدراسات التي سعت إلى بناء نموذج متكامل يربط بين نظام الأداء والصيانة الوقائية وكفاءة إدارة الأصول في مشاريع البنية التحتية ما تزال محدودة، خصوصًا في البيئة العربية.

كما أظهرت مراجعة الدراسات أن معظم الباحثين ركزوا على تقييم الأنشطة المنفذة أو كفاءة فرق الصيانة، دون التوسع في دراسة أثر هذه الأنشطة على الأداء التشغيلي للأصول أو استدامتها أو القيمة الاقتصادية الناتجة عنها. ويترتب على ذلك وجود فجوة واضحة بين مؤشرات التنفيذ التقليدية ومؤشرات الأداء الاستراتيجي التي تعتمد عليها المؤسسات العالمية في إدارة الأصول.

ومن ناحية أخرى، تشير الأدبيات الحديثة إلى تزايد الاهتمام بتطبيق مفاهيم التحول الرقمي، وإنترنت الأشياء، والنكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة، إلا أن معظم الدراسات تناولت هذه التقنيات من منظور تقني بحت، دون دمجها في إطار متكامل لتقييم الأداء وربطها باتخاذ القرار الإداري.

كما لوحظ أن كثيرًا من الدراسات ركزت على قطاعات صناعية أو إنتاجية، مثل قطاع النفط والغاز والطاقة والصناعات التحويلية، في حين لم تحظ مشاريع البنية التحتية، وخاصة الطرق والمرافق العامة، بنفس القدر من الاهتمام، رغم اختلاف طبيعة هذه المشاريع من حيث دورة الحياة، وأنماط الأعطال، وآليات الصيانة، ومتطلبات الاستدامة.

وبالإضافة إلى ذلك، اعتمدت نسبة كبيرة من الدراسات على المنهج الوصفي أو دراسة الحالة، مع استخدام محدود للنماذج التحليلية التي تفسر العلاقات بين المتغيرات المختلفة، مثل العلاقة بين مؤشرات الأداء وكفاءة إدارة الصيانة، أو العلاقة بين الصيانة الوقائية وتحسين أداء الأصول.

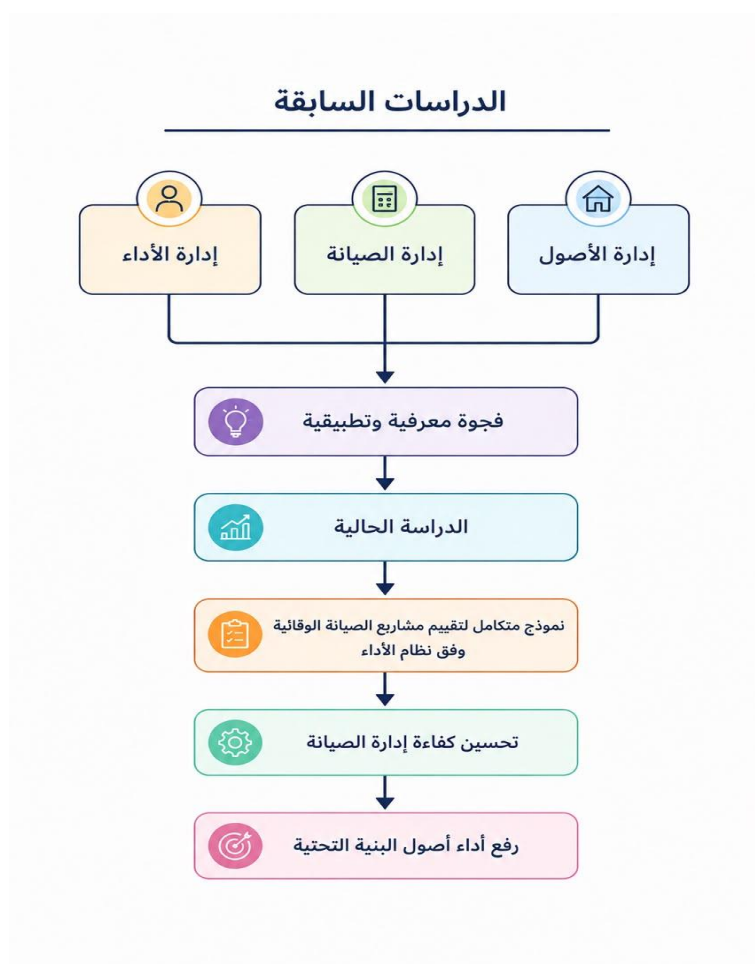
وتأسيسًا على ما سبق، تتحدد الفجوة البحثية للدراسة الحالية في غياب نموذج تحليلي متكامل يقيس أثر تطبيق نظام الأداء في مشاريع الصيانة الوقائية على كفاءة إدارة الصيانة وتحسين أداء أصول البنية التحتية، وهو ما تسعى الدراسة الحالية إلى معالجته من خلال تطوير إطار علمي وتطبيقي يجمع بين إدارة الأصول، والصيانة الوقائية، ومؤشرات الأداء، والتحول الرقمي، في نموذج واحد يمكن تطبيقه في المؤسسات الحكومية والجهات المسؤولة عن إدارة مشاريع البنية التحتية.

جدول (1-3)

الفجوة البحثية بين الدراسات السابقة والدراسة الحالية

محور المقارنة	ما تضيفه الدراسة الحالية	ما تناولته الدراسات السابقة
إدارة الصيانة	التركيز على نتائج الأداء	التركيز على الأنشطة التشغيلية
مؤشرات الأداء	بناء منظومة متكاملة لمؤشرات الأداء	استخدام مؤشرات منفردة
إدارة الأصول	ربطها مباشرة بالصيانة الوقائية	تناولها بصورة استراتيجية عامة
التحول الرقمي	دمج التقنيات في نموذج تقييم الأداء	دراسة التقنيات بصورة مستقلة
مشاريع البنية التحتية	تطبيق شامل على مشاريع البنية التحتية	دراسات محدودة
النموذج التطبيقي	نموذج تطبيقي قابل للتنفيذ	توصيات عامة

شكل (1-3) موقع الدراسة الحالية ضمن الأدبيات العلمية



1.6 مشكلة الدراسة (Statement of the Problem)

تمثل مشاريع البنية التحتية أحد أهم الأصول الاستراتيجية وتستحوذ أعمال تشغيلها وصيانتها على نسبة كبيرة من الإنفاق الحكومي السنوي. ورغم التطور في برامج الصيانة الوقائية، لا تزال العديد من الجهات المالكة للأصول تواجه تحديات تتعلق بارتفاع معدلات الأعطال، وتفاوت مستويات الأداء، وازدياد تكاليف التشغيل والصيانة، وانخفاض العمر التشغيلي لبعض الأصول مقارنةً بما هو مخطط له.

وتشير الممارسات الحالية في كثير من المؤسسات إلى أن تقييم مشاريع الصيانة يعتمد بصورة كبيرة على مؤشرات تنفيذية، مثل عدد أوامر العمل المنجزة، أو الالتزام بالبرنامج الزمني، أو حجم الإنفاق، بينما لا يتم قياس الأثر الحقيقي لهذه الأعمال على الأداء التشغيلي للأصول، أو مدى مساهمتها في تحقيق أهداف المؤسسة المتعلقة بالكفاءة والاستدامة وتعظيم قيمة الأصول.

كما يلاحظ وجود قصور في ربط برامج الصيانة الوقائية بمؤشرات الأداء الاستراتيجية، الأمر الذي يؤدي إلى ضعف الاستفادة من البيانات التشغيلية في اتخاذ القرار، وصعوبة تقييم كفاءة الإنفاق على الصيانة، وعدم وجود إطار موحد يمكن الاعتماد عليه للمقارنة بين المشاريع المختلفة أو قياس أثر برامج التحسين المستمر.

وعلى الرغم من التطور الكبير في تطبيق أنظمة إدارة الأصول والتحول الرقمي، فإن العديد من المؤسسات لم تتمكن حتى الآن من دمج هذه الأنظمة ضمن نموذج متكامل لتقييم الأداء، يربط بين التخطيط والتنفيذ والرقابة والتحسين المستمر، ويقيس بصورة موضوعية العلاقة بين برامج الصيانة وكفاءة إدارة الأصول.

وبناءً على ذلك، تتمثل مشكلة الدراسة في عدم وجود إطار علمي متكامل لتقييم مشاريع الصيانة الوقائية وفق نظام أداء يعتمد على مؤشرات كمية ونوعية تقيس الأثر الحقيقي لبرامج الصيانة في تحسين كفاءة إدارة الصيانة وتعزيز أداء أصول البنية التحتية.

وتسعى الدراسة الحالية إلى معالجة هذه المشكلة من خلال تطوير نموذج تحليلي يفسر العلاقة بين تطبيق نظام الأداء وكفاءة إدارة الصيانة، واختبار أثر هذا التطبيق في تحسين الأداء التشغيلي للأصول، بما يسهم في دعم متخذي القرار وتطوير ممارسات إدارة الصيانة في مشاريع البنية التحتية.

1.7 أسئلة الدراسة (Research Questions)

تُعد أسئلة الدراسة الأساس الذي يُبنى عليه الإطار المنهجي للدراسة، إذ تُوجه عملية جمع البيانات وتحليلها، وتسهم في تحديد طبيعة العلاقات بين المتغيرات، كما تمثل الأساس في صياغة الفرضيات واختيار الأساليب الإحصائية المناسبة. وانطلاقاً من مشكلة الدراسة والفجوة البحثية، تسعى هذه الدراسة إلى الإجابة عن السؤال الرئيس الآتي:

السؤال الرئيس

ما أثر تطبيق نظام الأداء في مشاريع الصيانة الوقائية على كفاءة إدارة الصيانة في مشاريع البنية التحتية؟

ويتفرع عن هذا السؤال مجموعة من الأسئلة الفرعية هي:

1. ما مستوى تطبيق نظام الأداء في مشاريع الصيانة الوقائية؟
2. ما مستوى كفاءة إدارة الصيانة في مشاريع البنية التحتية؟
3. ما العلاقة بين تطبيق مؤشرات الأداء الرئيسية وكفاءة إدارة الصيانة؟
4. ما أثر التخطيط الاستراتيجي للصيانة في تحسين الأداء التشغيلي للأصول؟
5. ما دور التحول الرقمي في رفع كفاءة إدارة الصيانة؟
6. إلى أي مدى تسهم كفاءة إدارة الصيانة في تحسين أداء أصول البنية التحتية؟
7. ما النموذج المقترح لتقييم مشاريع الصيانة الوقائية وفق نظام الأداء؟

1.8 أهداف الدراسة (Research Objectives)

أولاً: الهدف الرئيس

تهدف الدراسة إلى تحليل أثر تطبيق نظام الأداء في مشاريع الصيانة الوقائية على كفاءة إدارة الصيانة وتحسين أداء أصول البنية التحتية، وصولاً إلى تطوير نموذج علمي وتطبيقي لتقييم مشاريع الصيانة وفق أفضل الممارسات العالمية.

ثانياً: الأهداف الفرعية

ولتحقيق هذا الهدف الرئيس، تسعى الدراسة إلى تحقيق الأهداف الآتية:

1. التعرف على واقع تطبيق نظام الأداء في مشاريع الصيانة الوقائية .
2. قياس مستوى كفاءة إدارة الصيانة في مشاريع البنية التحتية .
3. تحليل العلاقة بين مؤشرات الأداء الرئيسية وكفاءة إدارة الصيانة .
4. دراسة أثر التخطيط الاستراتيجي للصيانة في تحسين الأداء التشغيلي .
5. قياس أثر التحول الرقمي في رفع كفاءة إدارة الصيانة .
6. تحليل العلاقة بين كفاءة إدارة الصيانة وتحسين أداء الأصول .
7. بناء نموذج مقترح لتقييم مشاريع الصيانة الوقائية يعتمد على مؤشرات الأداء .

جدول (4-1)

الربط بين مشكلة الدراسة وأسئلتها وأهدافها

مشكلة الدراسة	الهدف المرتبط	سؤال الدراسة
ضعف تقييم نتائج الصيانة	التعرف على واقع التطبيق	ما مستوى تطبيق نظام الأداء؟
غياب مؤشرات أداء متكاملة	تحليل العلاقة بين المتغيرات	ما العلاقة بين مؤشرات الأداء وكفاءة الصيانة؟
ضعف الاستفادة من البيانات	قياس أثر التحول الرقمي	ما دور التحول الرقمي؟
تفاوت أداء الأصول	تحسين إدارة الأصول	ما أثر كفاءة الصيانة على أداء الأصول؟
عدم وجود نموذج موحد	تطوير إطار تطبيقي	ما النموذج المقترح؟

1.9 فرضيات الدراسة (Research Hypotheses)

استنادًا إلى الإطار النظري والأدبيات السابقة، تمت صياغة فرضيات الدراسة بالشكل الآتي:

الفرضية الرئيسية

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لتطبيق نظام الأداء في مشاريع الصيانة الوقائية على كفاءة إدارة الصيانة في مشاريع البنية التحتية.

الفرضيات الفرعية

الفرضية الأولى

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتطبيق مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) على كفاءة إدارة الصيانة.

الفرضية الثانية

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية للتخطيط الاستراتيجي للصيانة على تحسين الأداء التشغيلي للأصول.

الفرضية الثالثة

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية للتحول الرقمي في رفع كفاءة إدارة الصيانة.

الفرضية الرابعة

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية للرقابة المستمرة وقياس الأداء في خفض معدلات الأعطال.

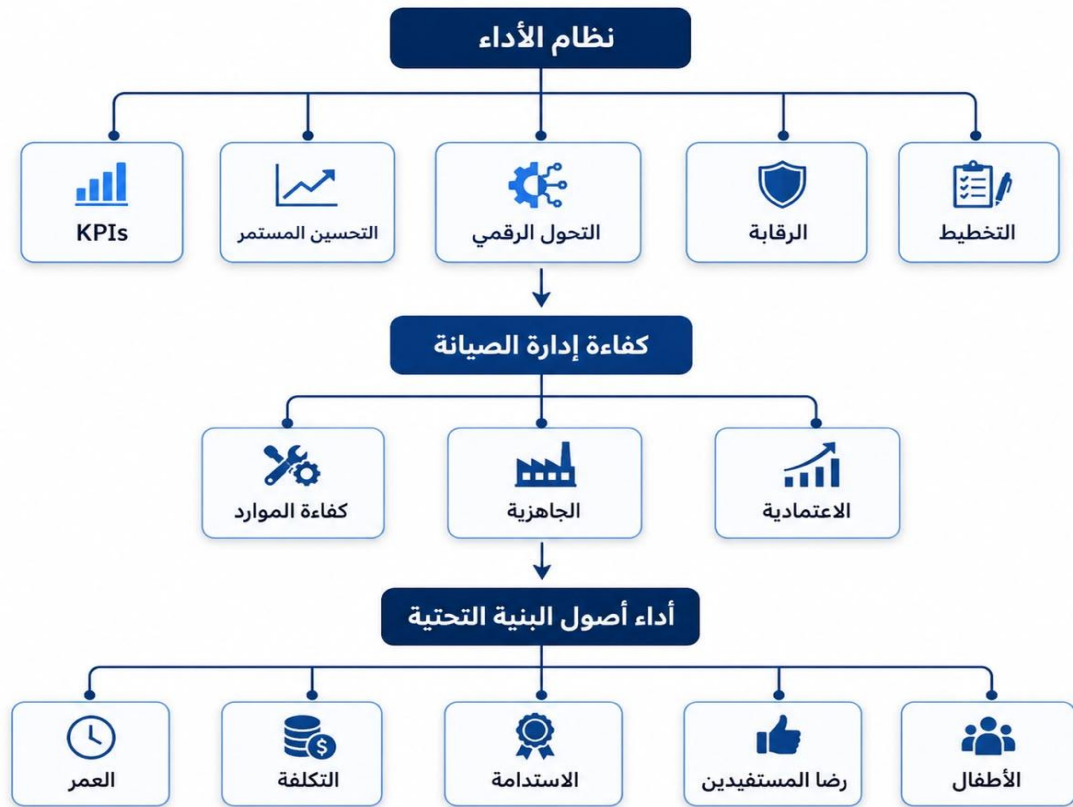
الفرضية الخامسة

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لكفاءة إدارة الصيانة في تحسين أداء أصول البنية التحتية.

جدول (5-1) متغيرات الدراسة

المتغير	نوع المتغير	الأبعاد
نظام الأداء	مستقل	مؤشرات الأداء، التخطيط، الرقابة، التحول الرقمي، التحسين المستمر
كفاءة إدارة الصيانة	وسيط	الاعتمادية، الجاهزية، سرعة الاستجابة، كفاءة الموارد
أداء أصول البنية التحتية	تابع	العمر التشغيلي، الأعطال، التكلفة، الاستدامة، رضا المستفيدين

شكل (4-1) النموذج المفاهيمي المقترح للدراسة



1.10 أهمية الدراسة (Significance of the Study)

تستمد الدراسة أهميتها من أهمية موضوعها، ومن الحاجة المتزايدة إلى تطوير نظم إدارة الصيانة في مشاريع البنية التحتية، ويمكن تقسيم أهمية الدراسة إلى جانبين:

أولاً: الأهمية العلمية

تتمثل الأهمية العلمية فيما يأتي:

- إثراء الأدبيات العربية في مجال إدارة الصيانة وإدارة الأصول .
- تقديم نموذج علمي يربط بين الصيانة الوقائية ونظام الأداء .
- دعم الدراسات المستقبلية في مجالات إدارة الأصول والاستدامة .
- دمج أحدث الاتجاهات العالمية في إدارة الصيانة ضمن إطار علمي واحد .

ثانياً: الأهمية التطبيقية

تتمثل الأهمية التطبيقية فيما يأتي:

- مساعدة الجهات الحكومية على تطوير سياسات تقييم مشاريع الصيانة .
- تحسين كفاءة استخدام الموارد المالية والبشرية .
- دعم متخذي القرار بمؤشرات أداء دقيقة .
- تعزيز استدامة أصول البنية التحتية .
- المساهمة في رفع جودة الخدمات العامة .
- توفير نموذج يمكن تطبيقه في مشاريع الطرق، والجسور، والمرافق العامة، وشبكات البنية التحتية.

1.11 حدود الدراسة (Scope of the Study)

جدول (1-6) : حدود الدراسة

نوع الحدود	الوصف
موضوعية	تقييم مشاريع الصيانة الوقائية وفق نظام الأداء
مكانية	مؤسسات إدارة مشاريع البنية التحتية
زمنية	فترة تنفيذ الدراسة مع الاعتماد على الأدبيات الحديثة
بشرية	العاملون في إدارة الصيانة وإدارة الأصول
منهجية	المنهج الوصفي التحليلي

تُعد حدود الدراسة من العناصر الأساسية التي تحدد نطاق البحث وتوضح الإطار الذي سيتم في ضوءه تفسير النتائج. وقد روعي في هذه الدراسة تحديد الحدود بصورة دقيقة لضمان موضوعية النتائج وإمكانية تعميمها في حدود البيئة المدروسة.

أولاً: الحدود الموضوعية

تقتصر الدراسة على تقييم مشاريع الصيانة الوقائية في مشاريع البنية التحتية وفق نظام الأداء، مع التركيز على العلاقة بين تطبيق نظام الأداء وكفاءة إدارة الصيانة وأثر ذلك في تحسين أداء الأصول. ولا تتناول الدراسة الجوانب الإنشائية أو التصميمية للمشاريع، أو الجوانب المالية البحتة المتعلقة بتمويل مشاريع البنية التحتية، إلا بالقدر الذي يخدم أهداف الدراسة.

ثانياً: الحدود المكانية

تطبق الدراسة على الجهات والمؤسسات المسؤولة عن إدارة وتشغيل وصيانة مشاريع البنية التحتية، ويمكن تطبيقها على الجهات الحكومية وشركات تشغيل وصيانة الطرق والجسور والمرافق العامة في دولة الإمارات العربية المتحدة، مع إمكانية تعميم الإطار المقترح على مؤسسات مماثلة في دول مجلس التعاون الخليجي.

ثالثاً: الحدود الزمنية

تغطي الدراسة البيانات المتعلقة بالفترة الزمنية التي يتم خلالها تنفيذ الدراسة الميدانية، مع الاستفادة من الأدبيات العلمية الحديثة الصادرة خلال الفترة 2018-2026 لضمان حداثة الإطار النظري والدراسات السابقة.

رابعاً: الحدود البشرية

تشمل الدراسة الفئات ذات العلاقة المباشرة بإدارة الصيانة، ومن أهمها:

- مديرو مشاريع الصيانة .
- مهندسو الصيانة .
- مديرو إدارة الأصول .
- مديرو العقود .
- المشرفون الميدانيون .
- مسؤولو الجودة والأداء .
- مسؤولو التخطيط والمتابعة .

خامساً: الحدود المنهجية

تعتمد الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، مع استخدام الاستبانة كأداة رئيسية لجمع البيانات، بالإضافة إلى التحليل الإحصائي لاختبار فرضيات الدراسة.

1.12 مصطلحات الدراسة (Definition of Terms)

تعتمد الدراسة على مجموعة من المصطلحات الرئيسية، ويقصد بها في هذه الدراسة ما يأتي:

أولاً: الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance)

التعريف النظري

هي مجموعة الأنشطة المخططة التي تُنفذ بصورة دورية بهدف منع حدوث الأعطال قبل وقوعها والمحافظة على كفاءة الأصل وإطالة عمره التشغيلي.

التعريف الإجرائي

ويقصد بها في هذه الدراسة جميع أعمال الصيانة الدورية المجدولة التي يتم تنفيذها للحفاظ على أصول البنية التحتية وتحسين جاهزيتها التشغيلية وفق خطة معتمدة.

ثانياً: نظام الأداء (Performance-Based System)

التعريف النظري

هو نظام إداري يعتمد على قياس الأداء باستخدام مؤشرات كمية ونوعية وربط نتائج التنفيذ بالأهداف الاستراتيجية للمؤسسة.

التعريف الإجرائي

ويقصد به في هذه الدراسة النظام الذي يتم من خلاله قياس كفاءة مشاريع الصيانة الوقائية باستخدام مجموعة من مؤشرات الأداء الرئيسية مثل الاعتمادية، والتوافرية، والاستجابة، وكفاءة الموارد.

ثالثاً: إدارة الصيانة (Maintenance Management)

التعريف النظري

هي عملية التخطيط والتنظيم والتوجيه والرقابة على جميع الأنشطة المتعلقة بصيانة الأصول بما يضمن المحافظة على كفاءتها التشغيلية.

التعريف الإجرائي

ويقصد بها في هذه الدراسة جميع الأنشطة الإدارية والفنية التي تهدف إلى تخطيط وتنفيذ ومتابعة برامج الصيانة الوقائية وتحقيق أعلى مستوى من كفاءة الأداء .

رابعاً: إدارة الأصول (Asset Management)

التعريف النظري

هي الإدارة المنهجية للأصول طوال دورة حياتها بما يحقق التوازن بين الأداء والمخاطر والتكلفة والاستدامة.

التعريف الإجرائي

ويقصد بها في هذه الدراسة جميع السياسات والإجراءات التي تتبعها المؤسسة للمحافظة على أصول البنية التحتية وتحسين قيمتها التشغيلية.

خامساً: مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs)

التعريف النظري: هي مقاييس كمية تستخدم لتقييم مدى تحقيق المؤسسة لأهدافها الاستراتيجية.

التعريف الإجرائي: ويقصد بها في هذه الدراسة المؤشرات المستخدمة في تقييم كفاءة إدارة الصيانة مثل:

- MTBF
- MTTR
- Availability
- PM Compliance
- Failure Rate
- Maintenance Cost

سادساً: مشاريع البنية التحتية

التعريف النظري

هي المشروعات التي تنشئ وتدير المرافق الأساسية اللازمة لتقديم الخدمات العامة.

التعريف الإجرائي

ويقصد بها في هذه الدراسة مشاريع الطرق والجسور والأنفاق وشبكات المياه والصرف الصحي والمرافق العامة التي تخضع لبرامج الصيانة الوقائية.

جدول (7-1) التعريفات الإجرائية لمتغيرات الدراسة

المتغير	التعريف الإجرائي
نظام الأداء	نظام يعتمد على مؤشرات أداء لقياس نتائج الصيانة
كفاءة إدارة الصيانة	قدرة الإدارة على تحقيق أعلى جاهزية بأقل تكلفة
أداء الأصول	مستوى كفاءة الأصول بعد تنفيذ برامج الصيانة
الصيانة الوقائية	برامج صيانة مخططة لمنع الأعطال
التحول الرقمي	استخدام الأنظمة الذكية في إدارة الصيانة

1.13 هيكل الرسالة (Organization of the Thesis)

تتكون هذه الرسالة من خمسة فصول رئيسية، إضافة إلى الصفحات التمهيدية والمراجع والملاحق، وذلك على النحو الآتي:

الفصل الأول: مدخل الدراسة، ويتضمن الخلفية العلمية، ومشكلة الدراسة، وأهدافها، وأسئلتها، وفرضياتها، وأهميتها، وحدودها، ومصطلحاتها، والنموذج المفاهيمي.

الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة، ويستعرض المفاهيم والنظريات المتعلقة بإدارة الأصول، والصيانة الوقائية، ونظام الأداء، والدراسات العربية والأجنبية، والفجوة البحثية.

الفصل الثالث: منهجية الدراسة، ويشمل منهج الدراسة، ومجتمعها، وعينتها، وأداة الدراسة، وإجراءات الصدق والثبات، والأساليب الإحصائية.

الفصل الرابع: عرض نتائج الدراسة وتحليلها، ويتضمن التحليل الوصفي واختبار الفرضيات ومناقشة النتائج.

الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات، ويعرض أهم النتائج، والتوصيات التطبيقية، والدراسات المستقبلية، والنموذج المقترح.

الفصل الثاني: الإطار النظري والدراسات السابقة

تمهيد

يمثل الإطار النظري الأساس العلمي الذي تستند إليه الدراسة في تفسير العلاقة بين متغيراتها، كما يوفر الخلفية التي تساعد في فهم المفاهيم الرئيسية وتحليلها وربطها بالواقع التطبيقي. وتزداد أهمية هذا الفصل في الدراسات المتعلقة بإدارة مشاريع البنية التحتية، نظرًا لتداخل عدة تخصصات تشمل إدارة الأصول، وإدارة الصيانة، وإدارة الأداء، وإدارة المشاريع، والتحول الرقمي، والاستدامة.

وقد شهدت العقود الأخيرة تطورًا ملحوظًا في هذه المجالات، حيث انتقلت المؤسسات من التركيز على تنفيذ أعمال الصيانة إلى إدارة دورة حياة الأصل (Asset Life Cycle)، وربط برامج الصيانة بالأهداف الاستراتيجية للمؤسسة من خلال نظم قياس الأداء، بما يحقق الاستخدام الأمثل للموارد ويرفع من كفاءة الأصول ويعزز استدامتها. وانطلاقًا من ذلك، يتناول هذا الفصل الإطار النظري للدراسة من خلال استعراض المفاهيم الأساسية المتعلقة بإدارة الأصول، والصيانة الوقائية، ونظم الأداء، إضافة إلى عرض الدراسات السابقة العربية والأجنبية وتحليلها بصورة نقدية، وصولًا إلى تحديد موقع الدراسة الحالية من الأدبيات العلمية.

2.1 إدارة الأصول (Asset Management)

2.1.1 مفهوم إدارة الأصول

شهد مفهوم إدارة الأصول تطورًا كبيرًا خلال العقود الماضية، حيث انتقل من كونه نشاطًا يركز على حصر الممتلكات وصيانتها إلى كونه فلسفة إدارية متكاملة تهدف إلى تعظيم القيمة التي تحققها الأصول للمؤسسة طوال دورة حياتها. ويقوم هذا المفهوم على مبدأ أساسي يتمثل في تحقيق التوازن بين الأداء والتكلفة والمخاطر والاستدامة، بما يضمن الاستخدام الأمثل للموارد وتحقيق الأهداف الاستراتيجية للمؤسسة. وتعرف إدارة الأصول بأنها عملية تتبع ومراقبة وصيانة الممتلكات لتعظيم قيمتها بما في ذلك مجموعة الأنشطة المنهجية والمنسقة التي تمارسها المؤسسة لإدارة أصولها بكفاءة وفاعلية خلال دورة حياتها، بهدف تحقيق القيمة المثلى للأصل بما يتوافق مع الأهداف المؤسسية ومتطلبات أصحاب المصلحة. ويعكس هذا التعريف التحول من إدارة الأصل بوصفه عنصرًا ماديًا إلى إدارة القيمة التي يولدها الأصل.

وقد اكتسب هذا المفهوم أهمية متزايدة بعد صدور سلسلة المواصفات الدولية ISO 55000، التي وضعت إطارًا عالميًا لإدارة الأصول، وأكدت أن نجاح المؤسسات لا يعتمد فقط على امتلاك أصول ذات جودة عالية، وإنما على قدرتها على إدارتها بصورة تحقق أعلى قيمة ممكنة خلال دورة حياتها.

وفي مشاريع البنية التحتية، تشمل إدارة الأصول جميع الأنشطة المتعلقة بالتخطيط، والتصميم، والإنشاء، والتشغيل، والصيانة، والتطوير، والإحلال، بحيث تُتخذ القرارات بناءً على تحليل متكامل للأداء والتكلفة والمخاطر، وليس بصورة منفصلة لكل مرحلة.

2.1.2 أهداف إدارة الأصول

تسعى إدارة الأصول إلى تحقيق مجموعة من الأهداف الاستراتيجية التي تنعكس بصورة مباشرة على أداء المؤسسات وكفاءة الخدمات، ومن أهمها:

1. تعظيم القيمة الاقتصادية للأصول .
2. إطالة العمر التشغيلي للأصول .
3. تحسين الاعتمادية والجاهزية التشغيلية .
4. تقليل التكاليف الكلية لدورة الحياة .
5. رفع كفاءة استخدام الموارد .
6. تحسين جودة الخدمات .
7. تعزيز السلامة العامة .
8. دعم اتخاذ القرار المبني على البيانات .
9. تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية .
10. تعزيز ثقة أصحاب المصلحة .

وتعد هذه الأهداف مترابطة، حيث يسهم تحقيق أحدها في دعم الأهداف الأخرى، مما يجعل إدارة الأصول منظومة متكاملة وليست مجموعة من الأنشطة المنفصلة.

جدول (1-2) الأهداف الاستراتيجية لإدارة الأصول

الهدف	الأثر المتوقع
تعظيم قيمة الأصل	زيادة العائد على الاستثمار
تحسين الاعتمادية	تقليل الأعطال
رفع الجاهزية التشغيلية	استمرارية تقديم الخدمة
خفض التكلفة	تحسين كفاءة الإنفاق
إدارة المخاطر	تقليل احتمالية الفشل
الاستدامة	المحافظة على الأصل للأجيال القادمة
دعم القرار	تحسين التخطيط الاستراتيجي

2.1.3 مبادئ إدارة الأصول

تعتمد إدارة الأصول الحديثة على مجموعة من المبادئ التي تشكل الأساس في بناء أنظمة إدارة فعالة، ومن أهمها:

أولاً: تحقيق القيمة (Value Realization)

يعد تحقيق القيمة الهدف الرئيس لإدارة الأصول، حيث يتم تقييم جميع القرارات وفقاً لقدرتها على زيادة القيمة التي تحققها الأصول للمؤسسة والمجتمع.

ثانياً: المواءمة الاستراتيجية (Strategic Alignment)

يجب أن تكون جميع أنشطة إدارة الأصول مرتبطة بالأهداف الاستراتيجية للمؤسسة، بحيث تسهم في تحقيق رؤيتها ورسالتها وخططها طويلة المدى.

ثالثاً: القيادة والحوكمة (Leadership and Governance)

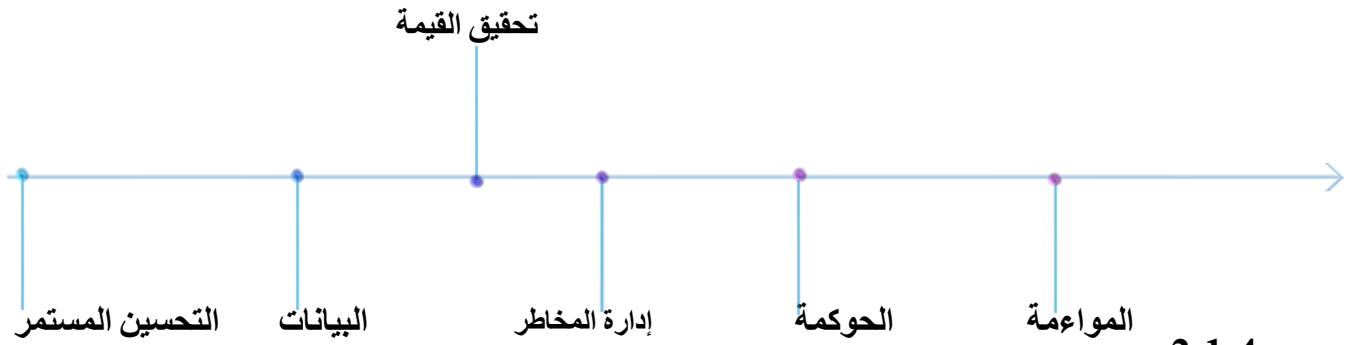
تتطلب إدارة الأصول وجود قيادة مؤسسية تدعم تطبيق السياسات والإجراءات، وتوفير الموارد اللازمة، وتضمن بوجود نظام للمساءلة والحوكمة.

رابعاً: اتخاذ القرار المبني على البيانات

تعتمد المؤسسات الحديثة على البيانات التشغيلية ومؤشرات الأداء في اتخاذ قرارات الصيانة والتطوير والإحلال مما يرفع من جودة القرارات ويقلل من الاعتماد على الاجتهادات الشخصية.

خامساً: التحسين المستمر

تمثل عملية التحسين المستمر أحد المبادئ الأساسية لإدارة الأصول، حيث يتم مراجعة الأداء بصورة دورية، وتحليل الانحرافات، وتنفيذ الإجراءات التصحيحية بهدف رفع كفاءة النظام بصورة مستمرة.



2.1.4

دورة حياة الأصل (Asset Life Cycle)

تمثل دورة حياة الأصل الإطار الذي تُدار من خلاله الأصول منذ مرحلة تحديد الحاجة وحتى مرحلة الإحلال أو التخلص منها، وتعد من أهم المفاهيم التي تقوم عليها إدارة الأصول الحديثة.

وتتكون دورة الحياة من ست مراحل رئيسية:

1. التخطيط .
2. التصميم .
3. الإنشاء .
4. التشغيل .
5. الصيانة والتطوير .
6. الإحلال أو الاستبدال .

تتنظر إدارة الأصول إلى دورة الحياة كمنظومة مترابطة تؤثر فيها قرارات كل مرحلة على المراحل اللاحقة، خاصةً من حيث تكاليف التشغيل والصيانة والعمر الافتراضي. وتُعد مرحلة الصيانة الأهم والأطول في دورة حياة الأصل، لذا فإن كفاءة إدارتها تُعد عاملاً رئيسياً في تعظيم قيمة الأصل.

2.2 إدارة الصيانة (Maintenance Management)

2.2.1 مفهوم إدارة الصيانة

تُعد إدارة الصيانة ركيزة أساسية في إدارة الأصول الحديثة، وتهدف إلى الحفاظ على جاهزية الأصول وكفاءتها التشغيلية طوال دورة حياتها. وقد تطور مفهومها من مجرد إصلاح الأعطال إلى منظومة متكاملة تشمل التخطيط والتنظيم والتنفيذ والرقابة والتحسين المستمر، مع تحقيق التوازن بين الأداء والتكلفة والمخاطر. كما أصبحت إدارة الصيانة وظيفة استراتيجية ترتبط بإدارة الأصول والجودة والمخاطر والأداء لتعزيز القيمة الاقتصادية للأصول.

2.2.2 أهداف إدارة الصيانة

تسعى إدارة الصيانة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف التشغيلية والاستراتيجية، أهمها:

- المحافظة على جاهزية الأصول واستمرارية تشغيلها .
- تقليل الأعطال المفاجئة .
- رفع مستوى الاعتمادية التشغيلية .
- إطالة العمر الافتراضي للأصول .
- تحسين السلامة العامة .
- تقليل تكاليف التشغيل والصيانة .
- رفع كفاءة استخدام الموارد .
- زيادة رضا المستفيدين .
- دعم الاستدامة البيئية والاقتصادية .
- تحسين جودة الخدمات .

وتتكمّل هذه الأهداف مع أهداف إدارة الأصول، حيث تؤدي الصيانة الفعالة إلى تحسين الأداء العام للمؤسسة وتقليل المخاطر التشغيلية.

جدول (2-2) العلاقة بين أهداف إدارة الصيانة وأثرها على المؤسسة

الهدف	الأثر الاقتصادي	الأثر التشغيلي
تقليل الأعطال	خفض تكاليف الإصلاح	زيادة الجاهزية
إطالة العمر التشغيلي	تأجيل الإحلال	استدامة الأصل
تحسين الاعتمادية	تقليل الخسائر التشغيلية	استمرارية الخدمة
رفع الجودة	زيادة رضا المستفيدين	تحسين الأداء
إدارة المخاطر	خفض الخسائر المالية	تقليل الحوادث

2.2.3 تطور إدارة الصيانة

شهدت إدارة الصيانة تطوراً كبيراً نتيجة التقدم الصناعي والتكنولوجي، ويمكن تقسيم هذا التطور إلى خمسة أجيال رئيسية.

الجيل الأول

اعتمد على الصيانة التصحيحية (Breakdown Maintenance) ، حيث لم تكن أعمال الصيانة تبدأ إلا بعد وقوع العطل، وهو ما أدى إلى ارتفاع تكاليف الإصلاح وزيادة التوقفات التشغيلية.

الجيل الثاني

ظهر مفهوم الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance) الذي يعتمد على تنفيذ أعمال الصيانة بصورة دورية وفق برامج زمنية محددة، بهدف تقليل احتمالية حدوث الأعطال. وقد حقق هذا الأسلوب تحسناً ملحوظاً مقارنة بالصيانة التصحيحية، إلا أنه كان يعتمد على الجداول الزمنية أكثر من اعتماده على الحالة الفعلية للأصل.

الجيل الثالث

اعتمد على الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance) ، والتي تستخدم أجهزة القياس وتحليل الاهتزازات ودرجات الحرارة والزيوت وغيرها لمراقبة حالة الأصل والتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها.

الجيل الرابع

شهد ظهور الصيانة المعتمدة على الاعتمادية (Reliability-Centred Maintenance - RCM) ، والتي تعتمد على تحليل وظائف الأصل وأنماط الفشل والمخاطر المرتبطة به، ثم اختيار استراتيجية الصيانة المناسبة لكل أصل.

الجيل الخامس

يمثل الجيل الحالي لإدارة الصيانة، ويعتمد على:

- الذكاء الاصطناعي .
- إنترنت الأشياء .
- البيانات الضخمة .
- التوأم الرقمي .
- أنظمة إدارة الأصول .
- الصيانة المعتمدة على الأداء .

ويتميز هذا الجيل بالاعتماد على البيانات اللحظية والتحليل التنبؤي واتخاذ القرار الذكي.

جدول (2-3) تطور أجيال إدارة الصيانة

الجيل	أهم الخصائص	الفترة
الأول	الصيانة بعد العطل	قبل 1950
الثاني	الصيانة الوقائية	1950-1975
الثالث	الصيانة التنبؤية	1975-1995
الرابع	الصيانة المعتمدة على الاعتمادية	1995-2010
الخامس	الصيانة الذكية المعتمدة على الأداء	2010 حتى الآن

2.2.4 أنواع الصيانة

يمكن تصنيف أعمال الصيانة إلى عدة أنواع رئيسة تختلف بحسب توقيت التدخل وأسلوب التنفيذ.

أولاً: الصيانة التصحيحية (Corrective Maintenance)

تتم بعد حدوث العطل بهدف إعادة الأصل إلى حالته التشغيلية.

المميزات

- انخفاض تكاليف التخطيط .
- مناسبة للأصول منخفضة الأهمية .

العيوب

- ارتفاع تكاليف الأعطال .
- توقف الخدمة .
- انخفاض الاعتمادية .

ثانياً: الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance)

تعتمد على برامج زمنية مخططة يتم تنفيذها بصورة دورية لمنع الأعطال قبل وقوعها.

المميزات

- تقليل الأعطال .
- رفع الاعتمادية .
- زيادة العمر التشغيلي .
- تحسين التخطيط .

العيوب

- احتمال تنفيذ أعمال غير ضرورية .
- الحاجة إلى موارد ثابتة .

ثالثاً: الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance)

تعتمد على مراقبة الحالة الفعلية للأصل باستخدام أجهزة القياس وتحليل البيانات.

المميزات

- التدخل عند الحاجة فقط .
- خفض التكاليف .
- زيادة دقة التخطيط .

العيوب

- ارتفاع تكلفة الأنظمة .

- الحاجة إلى خبرات متخصصة .

رابعاً: الصيانة المعتمدة على الاعتمادية (RCM)

تعتمد على تحليل المخاطر وتحديد أفضل استراتيجية لكل أصل حسب أهميته التشغيلية.

خامساً: الصيانة المعتمدة على المخاطر (Risk-Based Maintenance)

تعتمد على تقييم احتمالية حدوث الفشل وتأثيره، ثم تحديد أولويات الصيانة وفق مستوى المخاطر .

سادساً: الصيانة المعتمدة على الأداء (Performance-Based Maintenance)

تمثل أحدث اتجاهات إدارة الصيانة، حيث يتم تقييم نجاح برامج الصيانة وفق النتائج التشغيلية المتحققة، وليس وفق حجم الأعمال المنفذة .

ويعتمد هذا النوع على:

- مؤشرات الأداء .
- التحليل المستمر .
- التحسين المستمر .
- البيانات التشغيلية .
- العقود القائمة على الأداء .

وهو يمثل محور الدراسة الحالية، لأنه يربط مباشرة بين برامج الصيانة وكفاءة إدارة الأصول .

جدول (4-2) مقارنة بين استراتيجيات الصيانة

النوع	ملاءمته للبنية التحتية	الاعتمادية	تكلفة التنفيذ	توقيت التدخل
التصحيحية	منخفضة	منخفضة	منخفضة مبدئياً	بعد العطل
الوقائية	مرتفعة	مرتفعة	متوسطة	قبل العطل
التنبؤية	مرتفعة جداً	مرتفعة جداً	متوسطة إلى مرتفعة	حسب حالة الأصل
المعتمدة على الاعتمادية	عالية	عالية جداً	مرتفعة	وفق تحليل المخاطر
المعتمدة على الأداء	الأعلى	الأعلى	مرتفعة نسبياً	وفق مؤشرات الأداء

شكل (2-2) تطور فلسفة إدارة الصيانة التعريفات الإجرائية لمتغيرات الدراسة



2.3 الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance)

2.3.1 مفهوم الصيانة الوقائية

تُعد الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance) إحدى أهم الاستراتيجيات الحديثة في إدارة الصيانة، وتقوم على تنفيذ مجموعة من الإجراءات الفنية المخططة بصورة دورية بهدف المحافظة على الأصول في أفضل حالة تشغيلية ممكنة، ومنع حدوث الأعطال قبل وقوعها، وتقليل احتمالية الفشل التشغيلي، وتحسين الاعتمادية واستمرارية تقديم الخدمة. وقد ظهر مفهوم الصيانة الوقائية نتيجة محدودية كفاءة الصيانة التصحيحية التي تعتمد على إصلاح الأعطال بعد وقوعها، حيث أثبتت الدراسات أن تكلفة الأعطال المفاجئة لا تقتصر على أعمال الإصلاح فقط، وإنما تشمل أيضًا تكاليف توقف الخدمة، وخسائر الإنتاجية، واستهلاك الموارد، وتأثير الأعطال على السلامة العامة وجودة الخدمة. ومن هذا المنطلق، أصبحت الصيانة الوقائية تمثل فلسفة إدارية تقوم على مبدأ "منع المشكلة قبل حدوثها بدلاً من معالجتها بعد وقوعها"، وهو ما يجعلها عنصراً رئيساً في إدارة دورة حياة الأصل. ولا تعتمد الصيانة الوقائية على تنفيذ أعمال الصيانة بصورة عشوائية، بل تستند إلى خطط زمنية مدروسة، وجدول دورية، وبيانات تاريخية عن الأعطال، وتعليمات المصنع، وتحليل المخاطر، بما يضمن اختيار التوقيت الأمثل لتنفيذ أعمال الصيانة دون التأثير في استمرارية التشغيل. وقد أدى تطور أنظمة إدارة الأصول إلى توسيع مفهوم الصيانة الوقائية، بحيث أصبحت جزءاً من منظومة متكاملة تشمل التخطيط، وإدارة البيانات، وقياس الأداء، والتحسين المستمر، ولم تعد مجرد برنامج دوري لتغيير قطع الغيار أو إجراء الفحوصات.

2.3.2 أهمية الصيانة الوقائية

تتبع أهمية الصيانة الوقائية من دورها المحوري في المحافظة على قيمة الأصول وتحقيق الاستدامة التشغيلية، حيث تؤثر بصورة مباشرة في الأداء الفني والاقتصادي للمؤسسات.

وتتمثل أهميتها في الجوانب الآتية:

أولاً: المحافظة على جاهزية الأصول

تسهم الصيانة الوقائية في رفع نسبة جاهزية الأصول، من خلال تنفيذ أعمال الفحص والمعالجة قبل حدوث الأعطال، مما يضمن استمرارية تقديم الخدمات وتقليل التوقفات غير المخطط لها.

ثانياً: إطالة العمر التشغيلي

تؤدي عمليات الفحص الدوري، والتنظيف، والتشحيم، والمعايرة، واستبدال الأجزاء المستهلكة في الوقت المناسب إلى تقليل معدلات التآكل والإجهاد، وبالتالي إطالة العمر الافتراضي للأصل.

ثالثاً: خفض تكاليف التشغيل

تشير الدراسات إلى أن تكلفة تنفيذ الصيانة الوقائية أقل بكثير من تكلفة الأعطال المفاجئة، إذ تمنع حدوث الإصلاحات الكبيرة، وتقلل الحاجة إلى الاستبدال المبكر للأصول.

رابعاً: تحسين الاعتمادية

كلما ارتفعت جودة برامج الصيانة الوقائية، ارتفعت اعتمادية الأصل (Reliability)، وانخفض معدل الأعطال، وتحسن مستوى الأداء التشغيلي.

خامساً: تحسين السلامة

تؤدي الصيانة الوقائية دوراً رئيساً في تقليل المخاطر التشغيلية، ومنع الحوادث الناتجة عن فشل المعدات أو البنية التحتية، مما ينعكس إيجاباً على سلامة العاملين والمستفيدين.

سادساً: دعم الاستدامة

تسهم الصيانة الوقائية في تقليل استهلاك الموارد الطبيعية والطاقة، وخفض النفايات الناتجة عن استبدال الأصول، مما يدعم أهداف التنمية المستدامة.

جدول (5-2)

فوائد تطبيق الصيانة الوقائية

المجال	الفائدة
التشغيلي	زيادة الجاهزية التشغيلية
الاقتصادي	خفض تكلفة دورة الحياة
الفني	رفع الاعتمادية
البيئي	تقليل استهلاك الموارد
الإداري	تحسين التخطيط
المجتمعي	تحسين جودة الخدمات

2.3.3 أهداف الصيانة الوقائية

تسعى برامج الصيانة الوقائية إلى تحقيق مجموعة من الأهداف التي تتكامل مع أهداف إدارة الأصول، ومن أبرزها:

- المحافظة على استمرارية تشغيل الأصول .
- تقليل معدلات الأعطال .
- رفع مستوى الاعتمادية .
- زيادة التوافرية التشغيلية .
- تحسين جودة الخدمات .
- تقليل تكاليف الصيانة .
- تعظيم العائد من الاستثمار .
- رفع كفاءة استخدام الموارد .
- دعم اتخاذ القرار .
- تحسين رضا المستفيدين .

ولا تتحقق هذه الأهداف بصورة منفصلة، بل ترتبط جميعها ضمن إطار متكامل يركز على تعظيم قيمة الأصل طوال دورة حياته.

2.3.4 مكونات برنامج الصيانة الوقائية

يتكون برنامج الصيانة الوقائية الفعال من مجموعة عناصر مترابطة، يمثل كل منها جزءاً أساسياً من منظومة الإدارة الحديثة للصيانة.

أولاً: حصر الأصول

إعداد قاعدة بيانات شاملة تتضمن جميع الأصول ومكوناتها وبياناتها الفنية.

ثانياً: تصنيف الأصول

يتم تصنيف الأصول وفق أهميتها التشغيلية، ومستوى المخاطر، وتأثير الأعطال على الخدمة.

ثالثاً: تحديد أنشطة الصيانة

يشمل ذلك تحديد جميع الأعمال الوقائية المطلوبة لكل أصل وفق تعليمات المصنع والخبرة التشغيلية.

رابعاً: إعداد الجداول الزمنية

تحديد تكرار أعمال الصيانة وفق الزمن أو ساعات التشغيل أو حالة الأصل.

خامساً: إدارة أوامر العمل

إصدار أوامر العمل، ومتابعة تنفيذها، وتوثيق نتائجها.

سادساً: قياس الأداء

متابعة مؤشرات الأداء بصورة دورية لقياس فعالية برامج الصيانة.

سابعاً: التحسين المستمر

تحليل نتائج الأداء وتحديث الخطط والإجراءات بصورة مستمرة.

شكل (3-2) مكونات برنامج الصيانة الوقائية



2.3.5 عوامل نجاح برامج الصيانة الوقائية

يعتمد نجاح برامج الصيانة الوقائية على مجموعة من العوامل التنظيمية والفنية، من أهمها:

1. دعم الإدارة العليا

يُعد التزام الإدارة العليا بتوفير الموارد ووضع السياسات المناسبة أحد أهم عوامل نجاح برامج الصيانة.

2. توافر البيانات

كلما كانت البيانات التشغيلية أكثر دقة وحداثة، ارتفعت جودة التخطيط واتخاذ القرار.

3. الكفاءة الفنية

يعتمد نجاح الصيانة على كفاءة المهندسين والفنيين ومدى التزامهم بالإجراءات المعتمدة.

4. استخدام التكنولوجيا

يسهم استخدام أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS)، وإنترنت الأشياء، وأجهزة الاستشعار في تحسين فعالية الصيانة الوقائية.

5. مؤشرات الأداء

لا يمكن تطوير برامج الصيانة دون وجود مؤشرات أداء تقيس النتائج بصورة مستمرة.

6. إدارة المخاطر

يساعد تحليل المخاطر في تحديد أولويات الصيانة وتخصيص الموارد بصورة أكثر كفاءة.

جدول (6-2) عوامل نجاح الصيانة الوقائية

العامل	أثره على الأداء
دعم الإدارة	نجاح التطبيق
البيانات	دقة القرار
الكفاءة الفنية	جودة التنفيذ
التكنولوجيا	رفع الكفاءة
مؤشرات الأداء	تحسين المتابعة
إدارة المخاطر	تقليل الأعطال
التحسين المستمر	تطوير الأداء

2.3.6 تحديات تطبيق الصيانة الوقائية

على الرغم من المزايا الكبيرة للصيانة الوقائية، إلا أن تطبيقها يواجه عددًا من التحديات، منها:

- ضعف قواعد بيانات الأصول .
- محدودية الميزانيات .
- نقص الكوادر المؤهلة .
- مقاومة التغيير .
- ضعف التكامل بين الأنظمة الرقمية .
- غياب مؤشرات الأداء الموحدة .
- عدم تحديث خطط الصيانة .
- ضعف التنسيق بين الإدارات .

وتؤثر هذه التحديات بصورة مباشرة في كفاءة برامج الصيانة، مما يستدعي تبني نظم إدارية حديثة تعتمد على البيانات والتحسين المستمر .

2.4 نظام الأداء في إدارة الصيانة

(Performance-Based Maintenance System)

2.4.1 مفهوم نظام الأداء

شهدت المؤسسات الحكومية والخاصة خلال العقود الأخيرة تحولًا جذريًا في فلسفة الإدارة، حيث لم يعد نجاح المؤسسة يقاس بحجم الأعمال المنفذة أو الموارد المستخدمة، وإنما أصبح يقاس بالنتائج والقيمة المضافة التي تحققها تلك الأعمال. وقد أدى هذا التحول إلى ظهور مفهوم الإدارة القائمة على الأداء (Performance-Based Management) الذي يعتمد على قياس الأداء الفعلي وربطه بالأهداف الاستراتيجية للمؤسسة.

وانطلاقًا من هذا المفهوم، ظهر نظام الأداء في إدارة الصيانة (Performance-Based Maintenance System) بوصفه أحد التطبيقات الحديثة التي تعتمد على ربط جميع أنشطة الصيانة بمجموعة من مؤشرات الأداء الكمية والنوعية، بهدف تقييم مدى مساهمة أعمال الصيانة في تحسين أداء الأصل وتحقيق الأهداف التشغيلية للمؤسسة. ويقوم هذا النظام على مبدأ أساسي يتمثل في أن نجاح الصيانة لا يقاس بعدد أوامر العمل أو قيمة العقود أو ساعات العمل المنفذة، وإنما يقاس بمدى تحسين أداء الأصل بعد تنفيذ أعمال الصيانة.

وبذلك ينتقل التركيز من قياس المدخلات (Inputs) إلى قياس المخرجات (Outputs) ثم إلى قياس النتائج (Outcomes) وأخيرًا قياس القيمة (Value Creation).

ولهذا السبب أصبح نظام الأداء يمثل أحد أهم الاتجاهات الحديثة في إدارة الأصول وفق متطلبات المواصفة الدولية ISO 55001، التي تؤكد ضرورة وجود مؤشرات أداء واضحة لمتابعة تحقيق أهداف إدارة الأصول بصورة مستمرة.

2.4.2 فلسفة نظام الأداء

يقوم نظام الأداء على مجموعة من المبادئ الأساسية التي تميزه عن أنظمة الإدارة التقليدية، ويمكن تلخيصها فيما يأتي:
أولاً: الإدارة بالنتائج

لا يهتم النظام بحجم الأعمال المنفذة بقدر اهتمامه بالنتائج التشغيلية التي تحققت بعد تنفيذ أعمال الصيانة.

فعلى سبيل المثال، قد تنفذ المؤسسة ألف أمر عمل خلال شهر، إلا أن ارتفاع معدل الأعطال يدل على ضعف كفاءة الصيانة، بينما قد تنفذ مؤسسة أخرى عددًا أقل من أوامر العمل، لكنها تحقق جاهزية تشغيلية أعلى ومعدلات أعطال أقل.

ثانيًا: القياس المستمر

يعتمد نظام الأداء على قياس مؤشرات الأداء بصورة مستمرة، وليس بصورة دورية فقط، مما يسمح بالكشف المبكر عن الانحرافات واتخاذ الإجراءات التصحيحية في الوقت المناسب.

ثالثًا: التحسين المستمر

يعد التحسين المستمر أحد أهم ركائز نظام الأداء، حيث تتم مراجعة النتائج بصورة دورية، وتحليل أسباب الانحراف، وتحديث الخطط التشغيلية باستمرار.

رابعًا: اتخاذ القرار المبني على البيانات

يعتمد النظام على البيانات الفعلية المستخرجة من أنظمة إدارة الصيانة، وليس على التقديرات الشخصية، مما يرفع من جودة القرارات الإدارية.

خامسًا: ربط الأداء بالأهداف الاستراتيجية

لا تعمل مؤشرات الأداء بصورة منفصلة، بل ترتبط مباشرة بالأهداف الاستراتيجية للمؤسسة، بحيث يكون لكل مؤشر مساهمة واضحة في تحقيق رؤية المؤسسة ورسالتها.

جدول (2-7)

الفرق بين الإدارة التقليدية والإدارة القائمة على الأداء

الإدارة القائمة على الأداء	الإدارة التقليدية
قياس النتائج	قياس الأنشطة
التركيز على القيمة	التركيز على المدخلات
المتابعة المستمرة	الرقابة بعد التنفيذ
اتخاذ القرار بالبيانات	اتخاذ القرار بالخبرة
مؤشرات استراتيجية	مؤشرات تشغيلية
تقييم النظام بالكامل	تقييم الأفراد

2.4.3 أهداف تطبيق نظام الأداء

يسعى تطبيق نظام الأداء في مشاريع الصيانة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف الاستراتيجية، من أهمها:

- رفع كفاءة إدارة الصيانة .
- تحسين جودة الخدمات .
- تعظيم قيمة الأصول .
- رفع الاعتمادية التشغيلية .
- تقليل الأعطال .
- تحسين استخدام الموارد .
- رفع الإنتاجية .
- خفض تكلفة دورة الحياة .

- تحسين إدارة المخاطر .
- دعم التحول الرقمي .

ولا تتحقق هذه الأهداف بصورة مستقلة، وإنما من خلال منظومة متكاملة تربط التخطيط والتنفيذ والقياس والتحسين المستمر.

2.4.4 خصائص نظام الأداء

يتميز نظام الأداء بمجموعة من الخصائص التي تجعله أكثر كفاءة من الأنظمة التقليدية، ومن أهمها:

- **الشمولية**
يغطي جميع مراحل دورة حياة الأصل.
- **الموضوعية**
يعتمد على مؤشرات قابلة للقياس.
- **المرونة**
يمكن تطبيقه على مختلف أنواع الأصول.
- **الاستمرارية**
يعتمد على القياس المستمر.
- **القابلية للمقارنة**
يمكن مقارنة الأداء بين المشاريع المختلفة.
- **دعم القرار**
يوفر معلومات دقيقة تساعد الإدارة العليا.

2.4.5 مكونات نظام الأداء

يتكون نظام الأداء من مجموعة عناصر مترابطة، أهمها:

أولاً: مؤشرات الأداء (KPIs)

تمثل الأداة الرئيسة لقياس الأداء.

ثانياً: قواعد البيانات

تتضمن جميع البيانات التشغيلية الخاصة بالأصول.

ثالثاً: أنظمة إدارة الصيانة (CMMS)

تستخدم لإدارة أوامر العمل والبيانات التشغيلية.

رابعاً: لوحات المعلومات (Dashboards)

تعرض مؤشرات الأداء بصورة لحظية.

خامساً: التقارير التحليلية

تستخدم لتفسير النتائج واتخاذ القرارات.

سادساً: آليات التحسين

تشمل الإجراءات التصحيحية وخطط التطوير.

جدول (2-8) مكونات نظام الأداء

المكون	الوظيفة
KPIs	قياس الأداء
CMMS	إدارة بيانات الصيانة
Dashboards	عرض المؤشرات
Reports	التحليل
Benchmarking	المقارنة
Continuous Improvement	التطوير

2.4.6 مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs)

تُعد مؤشرات الأداء القلب الحقيقي لنظام الأداء، حيث تعتمد جميع عمليات القياس والتحليل عليها. ومن أهم المؤشرات المستخدمة عالميًا في إدارة الصيانة:

المؤشر	الهدف	الاختصار
متوسط الزمن بين الأعطال	قياس الاعتمادية	MTBF
متوسط زمن الإصلاح	سرعة الإصلاح	MTTR
الجاهزية التشغيلية	قياس الاستمرارية	Availability
معدل الأعطال	تقييم الاستقرار	Failure Rate
تكلفة الصيانة	الكفاءة الاقتصادية	Maintenance Cost
الالتزام بالصيانة الوقائية	جودة التنفيذ	PM Compliance
نسبة أوامر العمل الطارئة	قياس كفاءة التخطيط	Emergency Work Orders
رضا المستفيدين	جودة الخدمة	Customer Satisfaction

2.5 مؤشرات الأداء في مشاريع الصيانة الوقائية

(Key Performance Indicators for Preventive Maintenance Projects)

2.5.1 مفهوم مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs)

تُعد مؤشرات الأداء الرئيسية (Key Performance Indicators – KPIs) إحدى أهم الأدوات الإدارية المستخدمة في قياس مدى تحقيق الأهداف الاستراتيجية للمؤسسات، حيث توفر معلومات كمية ونوعية تساعد متخذي القرار في تقييم الأداء، والكشف عن الانحرافات، واتخاذ الإجراءات التصحيحية المناسبة.

وفي مجال إدارة الصيانة، تمثل مؤشرات الأداء الوسيلة الأساسية لقياس كفاءة تنفيذ برامج الصيانة الوقائية ومدى تأثيرها في تحسين أداء الأصول واستدامتها. كما تساعد هذه المؤشرات في الانتقال من الإدارة المبنية على الخبرة الشخصية إلى الإدارة المبنية على البيانات (Data-Driven Management)، وهو أحد المبادئ الأساسية لإدارة الأصول الحديثة. ولا يقتصر دور مؤشرات الأداء على قياس النتائج فقط، وإنما تمتد وظيفتها إلى دعم عمليات التخطيط، وتحديد الأولويات، وتخصيص الموارد، ومراقبة تنفيذ الخطط، وقياس كفاءة الإنفاق، وتطوير استراتيجيات الصيانة المستقبلية.

2.5.2 خصائص مؤشرات الأداء الفعالة

حتى تحقق مؤشرات الأداء أهدافها، ينبغي أن تتوفر فيها مجموعة من الخصائص العلمية والإدارية، ومن أهمها:

أولاً: الارتباط بالأهداف الاستراتيجية

يجب أن يكون كل مؤشر مرتبطاً بهدف استراتيجي واضح، بحيث يعكس مساهمته في تحقيق رؤية المؤسسة.

ثانياً: القابلية للقياس

ينبغي أن يعتمد المؤشر على بيانات يمكن قياسها والتحقق منها، بما يضمن موضوعية النتائج.

ثالثاً: الواقعية

يجب أن تكون أهداف المؤشر قابلة للتحقيق في ضوء الإمكانيات المتاحة.

رابعاً: الاستمرارية

يجب قياس المؤشر بصورة دورية تسمح بمتابعة الأداء وتحليل اتجاهاته.

خامساً: البساطة

كلما كان المؤشر واضحاً وسهل الفهم، زادت إمكانية استخدامه من قبل متخذي القرار.

سادساً: القابلية للمقارنة

يجب أن يسمح المؤشر بإجراء المقارنات بين الفترات الزمنية المختلفة، أو بين المشاريع، أو بين الجهات المختلفة.

جدول (2-9)

خصائص مؤشرات الأداء الفعالة

الأهمية	الخاصية
ضمان تحقيق الاستراتيجية	الارتباط بالأهداف
موضوعية النتائج	القابلية للقياس
إمكانية التطبيق	الواقعية
متابعة الأداء	الاستمرارية
سهولة التفسير	الوضوح
تقييم الأداء عبر الزمن	القابلية للمقارنة

2.5.3 تصنيف مؤشرات الأداء

يمكن تصنيف مؤشرات الأداء المستخدمة في إدارة الصيانة إلى عدة فئات وفقاً لطبيعة القياس.

أولاً: مؤشرات المدخلات (Input Indicators)

تقيس الموارد المستخدمة في تنفيذ أعمال الصيانة، مثل:

- الميزانية .
- القوى العاملة .
- المعدات .
- ساعات العمل .

ثانياً: مؤشرات العمليات (Process Indicators)

تقيس كفاءة تنفيذ إجراءات الصيانة.

- نسبة الالتزام بالخطة .

- زمن إصدار أوامر العمل .
- زمن الاستجابة .

ثالثاً: مؤشرات المخرجات (Output Indicators)

تقيس النتائج المباشرة لبرامج الصيانة.

- عدد أوامر العمل المنجزة .
- عدد الأصول التي تمت صيانتها .

رابعاً: مؤشرات النتائج (Outcome Indicators)

وهي أهم المؤشرات في هذه الدراسة- تقيس:

- انخفاض الأعطال .
- زيادة الجاهزية .
- ارتفاع الاعتمادية .
- انخفاض التكلفة .

خامساً: مؤشرات الأثر (Impact Indicators)

تقيس التأثير طويل المدى لبرامج الصيانة.

- تعظيم قيمة الأصل .
- تحسين رضا المستفيدين .
- تحقيق الاستدامة .
- رفع جودة الخدمات .

2.5.4 أهم مؤشرات الأداء في إدارة الصيانة

تعتمد المؤسسات العالمية على مجموعة كبيرة من مؤشرات الأداء، إلا أن أكثرها استخداماً في مشاريع البنية التحتية يتمثل فيما يأتي:

أولاً: متوسط الزمن بين الأعطال (MTBF)

يعد هذا المؤشر من أهم مؤشرات الاعتمادية، ويقاس متوسط الزمن الذي يعمل خلاله الأصل قبل حدوث عطل.

المعادلة

$$MTBF = \frac{\text{"إجمالي ساعات التشغيل"}}{\text{"الأعطال عدد"}}$$

كلما ارتفعت قيمة هذا المؤشر، دل ذلك على ارتفاع موثوقية الأصل وتحسن كفاءة برامج الصيانة الوقائية.

ثانياً: متوسط زمن الإصلاح (MTTR)

يقيس الزمن اللازم لإعادة الأصل إلى حالته التشغيلية بعد حدوث العطل.

المعادلة

$$MTTR = \frac{\text{"عدد الأعطال"}}{\text{"إجمالي زمن الإصلاح"}}$$

ويعد انخفاض قيمة هذا المؤشر دليلاً على سرعة الاستجابة وكفاءة فرق الصيانة.

ثالثاً: الجاهزية التشغيلية (Availability)

تمثل نسبة الوقت الذي يكون فيه الأصل جاهزاً للتشغيل.

المعادلة

$$Availability = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

ويعد هذا المؤشر من أهم المؤشرات المستخدمة في تقييم مشاريع البنية التحتية.

رابعاً: معدل الأعطال (Failure Rate)

يقيس عدد الأعطال خلال فترة زمنية محددة.

وكما انخفض هذا المؤشر ارتفعت كفاءة الصيانة.

خامساً: الالتزام بخطة الصيانة الوقائية (PM Compliance)

يقيس نسبة أوامر العمل الوقائية المنفذة إلى إجمالي أوامر العمل المخططة.

سادساً: تكلفة الصيانة

يقيس كفاءة استخدام الموارد المالية.

ويمكن حسابه على مستوى الأصل أو المشروع أو العقد بالكامل.

سابعاً: نسبة الصيانة الطارئة

تقيس نسبة أعمال الصيانة غير المخططة إلى إجمالي أعمال الصيانة.

ويعد ارتفاع هذا المؤشر دليلاً على ضعف التخطيط أو انخفاض فعالية الصيانة الوقائية.

جدول (10-2)

أهم مؤشرات الأداء المستخدمة عالمياً

المؤشر	الاتجاه الأفضل	الهدف
MTBF	↑ مرتفع	الاعتمادية
MTTR	↓ منخفض	سرعة الإصلاح
Availability	↑ مرتفع	الجاهزية
Failure Rate	↓ منخفض	الاستقرار
PM Compliance	↑ مرتفع	الالتزام بالخطة
Emergency Maintenance	↓ منخفض	الصيانة الطارئة
Maintenance Cost	↓ منخفض	الكفاءة المالية
Customer Satisfaction	↑ مرتفع	جودة الخدمة

2.5.5 بطاقة الأداء المتوازن (Balanced Scorecard)

أصبحت بطاقة الأداء المتوازن من أكثر الأدوات استخداماً في المؤسسات الحديثة لربط الأداء التشغيلي بالأهداف الاستراتيجية.

وفي مجال الصيانة يمكن استخدام البطاقة من خلال أربعة محاور رئيسية:

المحور المالي

- تكلفة الصيانة .
- تكلفة دورة الحياة .

- العائد على الاستثمار .

محور العملاء

- رضا المستفيدين .
- جودة الخدمات .
- سرعة الاستجابة .

محور العمليات الداخلية

- الجاهزية التشغيلية .
- الالتزام بخطة الصيانة .
- معدل الأعطال .

محور التعلم والنمو

- تدريب العاملين .
- التحول الرقمي .
- الابتكار .
- التحسين المستمر .

جدول (11-2)

بطاقة الأداء المتوازن في إدارة الصيانة

البعد	أهم المؤشرات
المالي	تكلفة الصيانة، تكلفة دورة الحياة
العملاء	رضا المستفيدين
العمليات	Availability, MTTR, MTBF
التعلم	التدريب، الابتكار، التحول الرقمي

2.5.6 تصميم لوحة مؤشرات الأداء (Performance Dashboard)

تعتمد المؤسسات الرائدة على لوحات معلومات تفاعلية تعرض مؤشرات الأداء بصورة لحظية، وتساعد الإدارة العليا على متابعة الأداء واتخاذ القرارات.

ويجب أن تتضمن لوحة الأداء في مشاريع الصيانة ما يأتي:

- نسبة الجاهزية .
- عدد الأعطال .
- أوامر العمل المفتوحة .
- أوامر العمل المنجزة .
- تكلفة الصيانة .
- نسبة الالتزام بالخطة .
- مؤشر السلامة .
- رضا المستفيدين .

وتُحدَّث هذه اللوحات بصورة يومية أو أسبوعية أو شهرية وفق طبيعة المشروع.

2.6 المعايير والنماذج العالمية لإدارة الأصول والصيانة

شهد مجال إدارة الأصول خلال العقدین الأخيرین تطورًا كبيرًا نتيجة الحاجة إلى تعظیم العائد من الاستثمارات الرأسمالية، والمحافظة على الأصول طوال دورة حياتها، وتحقيق الاستدامة التشغيلية والاقتصادية. وقد أدى ذلك إلى ظهور عدد من المواصفات والمعايير والنماذج العالمية التي أصبحت تمثل المرجعية الأساسية للمؤسسات الحكومية وشركات البنية التحتية في مختلف دول العالم. وتختلف هذه النماذج في منهجياتها، إلا أنها تتفق جميعًا على أن نجاح إدارة الأصول يعتمد على التكامل بين التخطيط الاستراتيجي، وإدارة المخاطر، وإدارة الصيانة، وقياس الأداء، والتحسين المستمر.

2.6.1 مواصفة ISO 55000 لإدارة الأصول

تُعد سلسلة المواصفات الدولية ISO 55000 الإطار العالمي الأكثر اعتمادًا في مجال إدارة الأصول، وقد أصدرتها المنظمة الدولية للتقييس (ISO) بهدف توفير منهجية موحدة تساعد المؤسسات على تعظيم القيمة الناتجة عن أصولها طوال دورة حياتها. ولا تركز المواصفة على الجوانب الفنية فقط، وإنما تربط إدارة الأصول بالأهداف الاستراتيجية للمؤسسة، بحيث تصبح جميع القرارات المتعلقة بالصيانة أو الإحلال أو الاستثمار مبنية على تحليل القيمة والمخاطر والتكلفة.

وتتكون السلسلة من ثلاثة أجزاء رئيسية:

- **ISO 55000:** المبادئ والمصطلحات .
- **ISO 55001:** متطلبات نظام إدارة الأصول .
- **ISO 55002:** الإرشادات التطبيقية .

وقد أصبحت هذه المواصفات مرجعاً رئيساً للمؤسسات المالكة للبنية التحتية، خاصة في قطاعات النقل والطاقة والمياه والبلديات.

ISO 55000 أهداف

تهدف المواصفة إلى:

- تعظيم قيمة الأصول .
- تحسين اتخاذ القرار .
- رفع كفاءة استخدام الموارد .
- إدارة المخاطر .
- دعم التحسين المستمر .
- تعزيز الاستدامة .
- تحسين الأداء المالي .
- رفع رضا أصحاب المصلحة.

شكل (6-2) إطار ISO 55000



2.6.2 نظام إدارة الأصول ISO 55001

يمثل **ISO 55001** الجانب التنفيذي من سلسلة المواصفات، إذ يحدد المتطلبات الواجب توافرها لإنشاء وتشغيل وتحسين نظام إدارة الأصول داخل المؤسسة.

ويرتكز النظام على دورة **خطط - نفذ - تحقق - حسن (PDCA)** ، بما يضمن التحسين المستمر ورفع كفاءة الأداء .

ويتضمن النظام العناصر الآتية:

- سياق المؤسسة .
- القيادة .
- التخطيط .
- الدعم .
- التشغيل .
- تقييم الأداء .
- التحسين المستمر .

ويعد **تقييم الأداء** أحد أهم عناصر المواصفة، لأنه يركز على قياس النتائج الفعلية باستخدام مؤشرات أداء كمية، وهو ما يتوافق مباشرة مع موضوع الدراسة الحالية.

جدول (2-12) عناصر ISO 55001

العنصر	الوظيفة
Context	تحديد البيئة التشغيلية
Leadership	القيادة
Planning	التخطيط
Support	الدعم
Operation	التشغيل
Performance Evaluation	تقييم الأداء
Improvement	التحسين المستمر

2.6.3 نموذج PAS 55

قبل إصدار سلسلة ISO 55000 ، كان معيار PAS 55 يمثل المرجع العالمي لإدارة الأصول، وقد طوره المعهد البريطاني للمواصفات (BSI) بالتعاون مع معهد إدارة الأصول (IAM) ويهدف النموذج إلى تحسين إدارة الأصول من خلال تحقيق التوازن بين:

- الأداء .
- التكلفة .
- المخاطر .

وقد كان لهذا النموذج دور كبير في تأسيس المفاهيم التي تبنتها لاحقًا مواصفات ISO 55000. ورغم استبداله رسميًا بسلسلة ISO ، فإن كثيرًا من المؤسسات لا تزال تستند إلى مبادئه، خاصة في قطاع المرافق العامة.

2.6.4 نموذج IAM Asset Management Anatomy

قدم معهد إدارة الأصول (Institute of Asset Management) نموذجًا متقدمًا يعرف باسم Asset Management

Anatomy، ويعد من أكثر النماذج استخدامًا في المؤسسات الكبرى.

ويقسم النموذج إدارة الأصول إلى ستة مجالات رئيسية:

- الاستراتيجية .
- اتخاذ القرار .
- دورة الحياة .
- المعلومات .
- المنظمة والأفراد .
- إدارة المخاطر .

ويتميز هذا النموذج بأنه يوضح بصورة تفصيلية العلاقة بين جميع مكونات إدارة الأصول، ويعد مرجعًا مهمًا عند تصميم أنظمة إدارة الصيانة.

شكل (7-2) نموذج IAM



2.6.5 مقارنة بين النماذج العالمية

جدول (2-13)

مقارنة بين النماذج العالمية لإدارة الأصول

النموذج	أوجه القصور	نقاط القوة	المجال
ISO 55000	يتطلب موارد كبيرة للتطبيق	معياري دولي شامل	إدارة الأصول
ISO 55001	يحتاج إلى نظام مؤسسي متكامل	يركز على الأداء	التطبيق التنفيذي
PAS 55	استُبدل بمعيار ISO	أساس تاريخي للمواصفات	إدارة الأصول
IAM Anatomy	لا يمثل معيار اعتماد رسمي	يربط جميع عناصر الإدارة	إطار مفاهيمي

2.6.6 مدى ارتباط هذه النماذج بالدراسة الحالية

تتوافق الدراسة الحالية بصورة مباشرة مع هذه النماذج للأسباب الآتية:

1. تعتمد الدراسة على مفهوم تعظيم قيمة الأصل الذي يمثل جوهر ISO 55000.
2. تركز الدراسة على قياس الأداء باعتباره أحد متطلبات ISO 55001.
3. تعتمد الدراسة على مبدأ التحسين المستمر الوارد في جميع النماذج العالمية .
4. تربط الدراسة بين الصيانة الوقائية وإدارة الأصول وفق دورة حياة الأصل .
5. تقدم الدراسة نموذجًا تطبيقيًا يمكن استخدامه في المؤسسات الحكومية لتطوير تقييم مشاريع الصيانة.

2.7 إدارة الصيانة المعتمدة على الاعتمادية (Reliability-Centered Maintenance - RCM)

RCM)

2.7.1 نشأة مفهوم الصيانة المعتمدة على الاعتمادية

ظهر مفهوم الصيانة المعتمدة على الاعتمادية (Reliability-Centered Maintenance - RCM) في نهاية ستينيات القرن العشرين ضمن قطاع الطيران المدني في الولايات المتحدة الأمريكية، وذلك استجابةً للحاجة إلى تطوير منهجية أكثر كفاءة في المحافظة على جاهزية الطائرات وتقليل الأعطال التي قد تؤثر في سلامة التشغيل. وقد أثبتت الدراسات التي أجرتها شركات الطيران بالتعاون مع الهيئات التنظيمية أن الاعتماد على الصيانة الدورية وحدها لا يحقق دائماً المستوى المطلوب من الاعتمادية، إذ إن كثيراً من الأعطال لا ترتبط بعمر المكون، وإنما ترتبط بظروف التشغيل أو أنماط الاستخدام أو العوامل البيئية.

وانطلاقاً من هذه النتائج، تطور مفهوم RCM ليصبح أحد أهم الأساليب العلمية في تخطيط برامج الصيانة، حيث يعتمد على تحليل وظائف الأصل، وتحديد أنماط الفشل المحتملة، وتقييم آثارها، ثم اختيار استراتيجية الصيانة الأكثر ملاءمة لكل أصل وفقاً لأهميته التشغيلية ومستوى المخاطر المرتبطة به.

وقد توسع استخدام هذا المفهوم لاحقاً ليشمل قطاعات الطاقة، والنقل، والصناعات الثقيلة، والبنية التحتية، وأصبح أحد المراجع الأساسية التي تعتمد عليها المؤسسات في تصميم برامج الصيانة الحديثة.

2.7.2 مفهوم الصيانة المعتمدة على الاعتمادية

تعرف الصيانة المعتمدة على الاعتمادية بأنها منهجية منظمة تهدف إلى تحديد السياسات المثلى للصيانة من خلال تحليل وظائف الأصل، وأنماط الفشل المحتملة، وتأثيراتها، واختيار الإجراءات التي تضمن استمرار الأصل في أداء وظائفه المطلوبة بأعلى مستوى من الكفاءة والاعتمادية.

ويتميز هذا الأسلوب بأنه لا يفرض استراتيجية صيانة واحدة على جميع الأصول، بل يختار الاستراتيجية المناسبة لكل أصل وفقاً لطبيعته التشغيلية وأهمية وظيفته وتأثير تعطله في المؤسسة.

ومن ثم فإن الصيانة الوقائية ليست هدفاً في حد ذاتها، وإنما إحدى الوسائل التي قد يوصي بها تحليل الاعتمادية إذا أثبتت أنها الخيار الأكثر كفاءة.

2.7.3 مبادئ الصيانة المعتمدة على الاعتمادية

يقوم نظام RCM على مجموعة من المبادئ الرئيسة التي تميزه عن نظم الصيانة التقليدية، ومن أهمها:

أولاً: المحافظة على الوظيفة وليس الأصل

يركز RCM على المحافظة على قدرة الأصل على أداء وظيفته المطلوبة، وليس على المحافظة على الأصل في حالته الجديدة فقط.

ثانياً: تحليل أنماط الفشل

يتم تحديد جميع صور الفشل المحتملة لكل أصل، وتحليل أسبابها واحتمالية حدوثها وتأثيرها على التشغيل.

ثالثاً: تقييم المخاطر

تعتمد قرارات الصيانة على مستوى المخاطر الناتجة عن الفشل، وليس على العمر الزمني للأصل فقط.

رابعاً: اختيار الاستراتيجية المناسبة

قد تكون الصيانة الوقائية، أو التنبؤية، أو التصحيحية، أو إعادة التصميم هي الخيار الأمثل وفقاً لنتائج التحليل.

خامساً: التحسين المستمر

يتم تحديث برامج الصيانة بصورة مستمرة اعتماداً على البيانات التشغيلية الفعلية.

جدول (14-2) المبادئ الأساسية لمنهجية RCM

المبدأ	الهدف
المحافظة على الوظيفة	ضمان استمرارية الخدمة
تحليل أنماط الفشل	منع الأعطال الحرجة
تقييم المخاطر	تحديد الأولويات
اختيار استراتيجية مناسبة	رفع كفاءة الصيانة
التحسين المستمر	تطوير الأداء

2.7.4 خطوات تطبيق منهجية RCM

تمر عملية تطبيق الصيانة المعتمدة على الاعتمادية بعدة مراحل مترابطة، يمكن تلخيصها فيما يأتي:

المرحلة الأولى: تحديد الأصل

يتم تحديد الأصل أو النظام المطلوب تحليله، وتجميع جميع البيانات الفنية المتعلقة به.

المرحلة الثانية: تحديد الوظائف

تحديد الوظائف الأساسية والثانوية التي يجب أن يؤديها الأصل أثناء التشغيل.

المرحلة الثالثة: تحديد حالات الفشل الوظيفي

تحليل الحالات التي يفشل فيها الأصل في أداء وظائفه المطلوبة.

المرحلة الرابعة: تحليل أنماط الفشل (Failure Modes)

تحديد جميع الأسباب التي قد تؤدي إلى حدوث الفشل.

المرحلة الخامسة: تحليل آثار الفشل (Failure Effects)

دراسة النتائج الفنية والتشغيلية والاقتصادية لكل نمط من أنماط الفشل.

المرحلة السادسة: تقييم الأهمية والمخاطر

ترتيب أنماط الفشل وفق درجة خطورتها وتأثيرها.

المرحلة السابعة: اختيار سياسة الصيانة

اختيار نوع الصيانة الأنسب لكل حالة.

شكل (8-2) خطوات تطبيق RCM



2.7.5 العلاقة بين RCM والصيانة الوقائية

من المفاهيم الخاطئة الشائعة أن الصيانة الوقائية هي أفضل استراتيجية لجميع الأصول، إلا أن منهجية RCM تؤكد أن اختيار نوع الصيانة يجب أن يعتمد على نتائج التحليل وليس على الجداول الزمنية فقط. فقد يوصي تحليل الاعتمادية بما يلي:

- تطبيق الصيانة الوقائية لبعض المكونات .
 - استخدام الصيانة التنبؤية لمكونات أخرى .
 - الاكتفاء بالصيانة التصحيحية في بعض الحالات منخفضة الخطورة .
 - إعادة تصميم الأصل إذا كانت جميع استراتيجيات الصيانة غير مجدية .
- وبذلك فإن الصيانة الوقائية تصبح جزءاً من منظومة أوسع تعتمد على تحليل الوظائف والمخاطر.

2.7.6 مزايا تطبيق RCM في مشاريع البنية التحتية

أثبتت التطبيقات العملية أن استخدام منهجية RCM في مشاريع البنية التحتية يؤدي إلى مجموعة من الفوائد، أهمها:

- رفع الاعتمادية التشغيلية .
- تقليل الأعطال الحرجة .
- تحسين استخدام الموارد .
- تقليل الصيانة غير الضرورية .
- تحسين سلامة المستخدمين .
- زيادة العمر التشغيلي للأصول .
- تحسين التخطيط المالي .
- رفع كفاءة اتخاذ القرار .
- دعم مؤشرات الأداء .
- تعزيز استدامة الأصول .

جدول (2-15) أثر تطبيق RCM على أداء مشاريع البنية التحتية

المجال	بعد تطبيق RCM	قبل تطبيق RCM
معدل الأعطال	منخفض	مرتفع
الاعتمادية	مرتفعة	متوسطة
الجاهزية التشغيلية	مرتفعة	متوسطة
تكلفة الصيانة	أقل على المدى الطويل	مرتفعة
إدارة المخاطر	استباقية	تفاعلية
اتخاذ القرار	يعتمد على البيانات	يعتمد على الخبرة

2.7.7 العلاقة بين RCM وموضوع الدراسة

يتضح من العرض السابق أن منهجية RCM تمثل أحد أهم الأسس العلمية التي يمكن الاستفادة منها في تطوير نظام تقييم مشاريع الصيانة الوقائية. فهي لا تركز على تنفيذ أعمال الصيانة بحد ذاتها، وإنما تربط قرارات الصيانة بتحليل المخاطر والاعتمادية والأداء التشغيلي، وهو ما يتوافق مع هدف الدراسة الحالية المتمثل في تقييم مشاريع الصيانة الوقائية وفق نظام أداء يعتمد على مؤشرات كمية ونوعية تقيس القيمة المضافة للأصول.

ومن ثم، فإن النموذج المقترح في هذه الدراسة يستفيد من مبادئ RCM، مع توسيع نطاقها ليشمل مؤشرات الأداء الاستراتيجية، والتحول الرقمي، وإدارة الأصول، بما يحقق إطاراً أكثر شمولاً لتقييم كفاءة مشاريع الصيانة في البنية التحتية.

2.8 الصيانة المعتمدة على المخاطر (Risk-Based Maintenance – RBM)

2.8.1 مفهوم الصيانة المعتمدة على المخاطر

تُعد الصيانة المعتمدة على المخاطر (Risk-Based Maintenance – RBM) من أكثر استراتيجيات الصيانة تطوراً في إدارة الأصول، حيث تعتمد على توجيه الموارد والجهود الفنية نحو الأصول التي تمثل أعلى مستوى من الخطورة على المؤسسة. ويستند هذا الأسلوب إلى مبدأ أن جميع الأصول لا تحمل الدرجة نفسها من الأهمية التشغيلية أو الاقتصادية، ومن ثم فإن تخصيص الموارد بصورة متساوية لجميع الأصول يؤدي إلى انخفاض كفاءة الصيانة وارتفاع تكاليفها.

ويُعرف هذا الأسلوب بأنه منهجية لتخطيط وتنفيذ أعمال الصيانة تعتمد على تقييم احتمالية حدوث الفشل وتأثيره، ثم ترتيب أولويات التدخل الفني وفق مستوى المخاطر، بهدف تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد وتعظيم موثوقية الأصول.

ويمثل هذا المفهوم انتقالاً من الصيانة التقليدية المعتمدة على الزمن إلى الصيانة المبنية على تحليل المخاطر، وهو ما يتوافق مع الاتجاهات الحديثة في إدارة الأصول وفق مواصفة ISO 55001، التي تؤكد ضرورة دمج إدارة المخاطر في جميع مراحل دورة حياة الأصل.

2.8.2 مفهوم المخاطر في إدارة الصيانة

تُعرف المخاطر في إدارة الصيانة بأنها احتمالية وقوع حدث يؤدي إلى فقدان الأصل أو انخفاض كفاءته التشغيلية أو تعطل الخدمة أو زيادة التكاليف أو الإضرار بسلامة العاملين أو المستفيدين.

ويتكون مستوى المخاطر من عنصرين رئيسين:

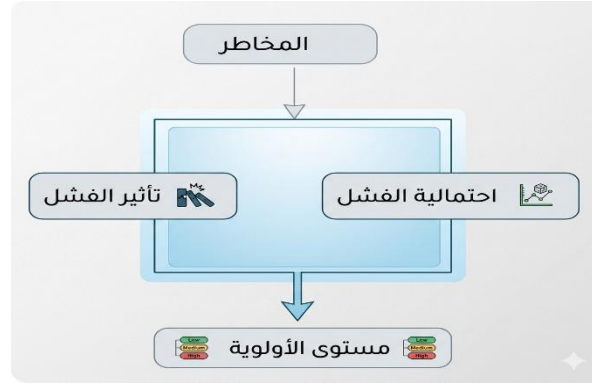
- احتمالية الفشل. (Probability of Failure – PoF)
- تأثير الفشل. (Consequence of Failure – CoF)

ويمكن التعبير عن العلاقة بينهما بالمعادلة الآتية:

$$Risk = Probability \times Consequence$$

وتعني هذه العلاقة أن الأصل الذي تكون احتمالية تعطله مرتفعة وتأثير تعطله كبيراً يمثل أعلى أولوية في برامج الصيانة.

شكل (9-2) مكونات المخاطر في إدارة الصيانة



2.8.3 خطوات تطبيق الصيانة المعتمدة على المخاطر

تمر عملية تطبيق RBM بعدد من المراحل العلمية المترابطة، وهي:

أولاً: حصر الأصول

إعداد قاعدة بيانات دقيقة تشمل جميع الأصول ومكوناتها وبياناتها الفنية.

ثانياً: تحديد المخاطر

تحديد جميع المخاطر المحتملة المرتبطة بكل أصل، سواء كانت مخاطر تشغيلية أو مالية أو بيئية أو تتعلق بالسلامة.

ثالثاً: تقييم احتمالية الفشل

تقدير احتمالية حدوث الفشل اعتماداً على:

- العمر التشغيلي .
- سجل الأعطال .
- ظروف التشغيل .
- نتائج الفحص .

رابعاً: تقييم تأثير الفشل

يشمل دراسة تأثير توقف الأصل على:

- السلامة .
- جودة الخدمة .
- البيئة .
- التكلفة .
- استمرارية التشغيل .

خامساً: حساب مستوى المخاطر

دمج نتائج المرحلتين السابقتين لتحديد مستوى الخطورة لكل أصل.

سادساً: تحديد أولويات الصيانة

ترتيب الأصول حسب مستوى المخاطر وتوجيه الموارد إليها.

سابعاً: المراجعة المستمرة

إعادة تقييم المخاطر بصورة دورية مع تحديث البيانات التشغيلية.

جدول (2-16) مراحل تطبيق RBM

المرحلة	الهدف
حصر الأصول	إنشاء قاعدة بيانات
تحديد المخاطر	التعرف على مصادر الخطر
تقييم الاحتمالية	تقدير احتمال الفشل
تقييم التأثير	قياس حجم الخسائر
حساب المخاطر	ترتيب الأولويات
تنفيذ الصيانة	معالجة الأصول الحرجة
المراجعة	التحسين المستمر

2.8.4 مصفوفة المخاطر (Risk Matrix)

تُعد مصفوفة المخاطر من أكثر الأدوات استخدامًا في تطبيق RBM ، حيث تساعد في تصنيف الأصول وفقًا لمستوى الخطورة.

جدول (2-17) مصفوفة تقييم المخاطر

تأثير الفشل احتمال الفشل	مرتفع	متوسط	منخفض
منخفض	متوسطة	منخفضة	منخفضة
متوسط	مرتفعة	متوسطة	منخفضة
مرتفع	حرجة	مرتفعة	متوسطة

وتستخدم هذه المصفوفة في تحديد أولويات الصيانة، بحيث تعطي الأصول الواقعة في المنطقة الحرجة الأولوية القصوى.

2.8.5 مزايا الصيانة المعتمدة على المخاطر

يسهم تطبيق RBM في تحقيق العديد من الفوائد، من أبرزها:

- الاستخدام الأمثل للموارد .
- تحسين توزيع الميزانيات .
- تقليل الأعطال الحرجة .
- رفع الاعتمادية .
- تحسين السلامة .
- دعم اتخاذ القرار .
- تحسين التخطيط طويل المدى .
- تقليل تكاليف دورة الحياة .
- تعزيز استدامة الأصول .
- رفع كفاءة برامج الصيانة الوقائية .

جدول(18-2) مقارنة بين الصيانة الوقائية والصيانة المعتمدة على المخاطر

العنصر	الصيانة الوقائية	الصيانة المعتمدة على المخاطر
أساس التنفيذ	الزمن	مستوى المخاطر
توزيع الموارد	متساوٍ نسبيًا	حسب الأولوية
تكلفة التطبيق	متوسطة	أعلى عند البدء
كفاءة استخدام الموارد	جيدة	مرتفعة
إدارة المخاطر	محدودة	متقدمة
ملاءمة البنية التحتية	مرتفعة	مرتفعة جدًا

2.8.6 العلاقة بين RBM ونظام الأداء

يمثل نظام الأداء والصيانة المعتمدة على المخاطر اتجاهين متكاملين، حيث يعتمد الأول على قياس النتائج التشغيلية، بينما يعتمد الثاني على تحديد أولويات التدخل وفق مستوى المخاطر. وعند دمجهما، يمكن للمؤسسة تحقيق أعلى كفاءة في إدارة الصيانة من خلال توجيه الموارد إلى الأصول الأكثر تأثيرًا، وقياس نتائج هذا التوجيه باستخدام مؤشرات أداء واضحة. ومن ثم، فإن الدراسة الحالية تستفيد من مبادئ RBM في بناء النموذج المقترح، من خلال اعتبار مستوى المخاطر أحد العوامل المؤثرة في تحديد أولويات الصيانة، وربطه بمؤشرات الأداء المستخدمة في تقييم كفاءة إدارة الصيانة.

2.9 التحول الرقمي في إدارة الصيانة (Digital Transformation in Maintenance Management)

2.9.1 مفهوم التحول الرقمي

يمثل التحول الرقمي أحد أهم المتغيرات التي أعادت تشكيل ممارسات إدارة الأصول والصيانة خلال العقد الأخير، حيث انتقلت المؤسسات من الاعتماد على السجلات الورقية والقرارات القائمة على الخبرة إلى الاعتماد على الأنظمة الذكية، وتحليل البيانات، والاتصال اللحظي بين الأصول ومراكز التحكم. ولا يقتصر التحول الرقمي على استخدام البرمجيات، بل يشمل إعادة تصميم العمليات الإدارية والتشغيلية اعتمادًا على التقنيات الرقمية، بما يحقق سرعة الحصول على المعلومات، ودقة اتخاذ القرار، وتحسين كفاءة استخدام الموارد. وفي مجال إدارة الصيانة، أسهم التحول الرقمي في تطوير أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS)، وأنظمة إدارة الأصول المؤسسية (EAM)، ومنصات تحليل البيانات، مما مكّن المؤسسات من متابعة حالة الأصول بصورة لحظية، والتنبؤ بالأعطال، وقياس الأداء بصورة أكثر دقة.

2.9.2 أهمية التحول الرقمي في إدارة الصيانة

تكمن أهمية التحول الرقمي في كونه يوفر بيئة تشغيلية تعتمد على البيانات، وتسهم في:

- رفع دقة التخطيط .
- تقليل الأخطاء البشرية .
- تسريع إصدار أوامر العمل .
- تحسين متابعة مؤشرات الأداء .
- دعم اتخاذ القرار .
- تقليل زمن الاستجابة للأعطال .

- تحسين إدارة المخزون وقطع الغيار .
- رفع كفاءة استخدام الموارد .
- دعم برامج الصيانة التنبؤية .
- تعزيز الشفافية والمساءلة .

2.10 التقنيات الذكية في إدارة الصيانة الحديثة

(Smart Technologies in Maintenance Management)

شهدت إدارة الصيانة خلال العقد الأخير تحولاً جذرياً نتيجة التطور الكبير في تقنيات الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) ، والتي أدت إلى انتقال المؤسسات من أساليب الصيانة التقليدية إلى الصيانة الذكية . (Smart Maintenance) وتعتمد هذه المنظومة على التكامل بين تقنيات إنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي، والتوأمة الرقمي، وتحليل البيانات الضخمة، والحوسبة السحابية، بهدف إنشاء بيئة تشغيلية تعتمد على البيانات الفورية، وتمكن المؤسسات من التنبؤ بالأعطال وتحسين الأداء بصورة مستمرة. وتشير الدراسات الحديثة إلى أن دمج هذه التقنيات في إدارة الصيانة يساهم في تقليل الأعطال غير المخطط لها، وتحسين الاعتمادية التشغيلية، ورفع كفاءة استخدام الموارد، وتحسين جودة القرارات الإدارية، بما ينسجم مع أهداف إدارة الأصول الحديثة.

2.10.1 إنترنت الأشياء (Internet of Things – IoT)

مفهوم إنترنت الأشياء

يقصد بإنترنت الأشياء شبكة مترابطة من الأجهزة والمعدات والمستشعرات (Sensors) التي تقوم بجمع البيانات بصورة مستمرة، ثم إرسالها إلى أنظمة الإدارة لتحليلها واتخاذ القرارات المناسبة بصورة آنية. وفي مشاريع البنية التحتية، يتم تثبيت أجهزة الاستشعار على الأصول المختلفة، مثل الجسور، والطرق، ومحطات الضخ، والمضخات، وخزانات المياه، وأعمدة الإنارة، وغيرها من المرافق، بهدف مراقبة حالتها التشغيلية بشكل مستمر. وتقيس هذه الأجهزة مجموعة كبيرة من المتغيرات، مثل:

- درجات الحرارة .
- الاهتزازات .
- الأحمال .
- الرطوبة .
- الضغوط .
- استهلاك الطاقة .
- معدلات التدفق .
- التشققات والانحرافات .

وتُرسل هذه البيانات بصورة لحظية إلى مراكز التحكم، حيث يتم تحليلها واستخدامها في دعم قرارات الصيانة.

فوائد إنترنت الأشياء في إدارة الصيانة

يساهم استخدام إنترنت الأشياء في تحقيق العديد من المزايا، أهمها:

- مراقبة الأصول بصورة مستمرة .
- الكشف المبكر عن الأعطال .
- تحسين دقة التخطيط .
- تقليل أعمال الفحص اليدوي .

- تحسين سلامة العاملين .
- رفع كفاءة استخدام الموارد .
- تحسين سرعة الاستجابة .
- توفير قاعدة بيانات تاريخية للأصول .
- دعم الصيانة التنبؤية .
- تحسين مؤشرات الأداء .

جدول(19-2) تطبيقات إنترنت الأشياء في مشاريع البنية التحتية

الأصل	الهدف	البيانات المقاسة	أجهزة الاستشعار
الجسور	متابعة السلامة الإنشائية	الإجهادات والانحرافات	Strain Gauges
الطرق	تحديد أولويات الصيانة	التشققات والهبوط	Pavement Sensors
شبكات المياه	اكتشاف التسريبات	الضغط والتدفق	Pressure Sensors
المضخات	التنبؤ بالأعطال	الاهتزازات	Vibration Sensors
أعمدة الإنارة	تحسين التشغيل	استهلاك الطاقة	Smart Controllers

2.10.2 الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligence – AI)

مفهوم الذكاء الاصطناعي

يشير الذكاء الاصطناعي إلى الأنظمة الحاسوبية القادرة على تحليل البيانات، واكتشاف الأنماط، والتنبؤ بالأحداث المستقبلية، ودعم اتخاذ القرار بصورة تحاكي التفكير البشري.

وفي إدارة الصيانة، يستخدم الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات التاريخية واللحظية الخاصة بالأصول، واكتشاف المؤشرات المبكرة للأعطال، واقتراح أفضل الإجراءات الفنية قبل وقوع الفشل.

ويتميز الذكاء الاصطناعي بقدرته على التعامل مع كميات ضخمة من البيانات، واستخلاص العلاقات التي يصعب اكتشافها باستخدام الأساليب التقليدية.

تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة

تشمل أهم التطبيقات ما يأتي:

- التنبؤ بالأعطال .
- تحليل أسباب الفشل .
- تحسين جدولة الصيانة .
- تحديد أولويات التدخل .
- تحسين إدارة المخزون .
- تحليل المخاطر .
- تحسين توزيع الموارد .
- دعم متخذي القرار .
- التنبؤ بالعمر المتبقي للأصل (Remaining Useful Life – RUL).

شكل (10-2) آلية عمل النكاء الاصطناعي في إدارة الصيانة



2.10.3 التوأم الرقمي (Digital Twin)

مفهوم التوأم الرقمي

يُعد التوأم الرقمي من أحدث التقنيات المستخدمة في إدارة الأصول، ويقصد به إنشاء نموذج رقمي يحاكي الأصل الحقيقي بصورة دقيقة، ويتم تحديثه باستمرار باستخدام البيانات الواردة من أجهزة الاستشعار. ويتيح هذا النموذج مراقبة حالة الأصل، وإجراء المحاكاة، وتحليل السيناريوهات المختلفة، والتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، مما يساعد في تحسين قرارات التشغيل والصيانة.

وقد بدأ استخدام التوأم الرقمي في مشاريع البنية التحتية الكبرى، مثل المطارات، والسكك الحديدية، والجسور، والطرق الذكية، ومحطات الطاقة، لما يوفره من قدرة على تحسين كفاءة إدارة الأصول وتقليل المخاطر.

مزايا التوأم الرقمي

يسهم التوأم الرقمي في:

- تحسين التخطيط .
- تقليل الأعطال .
- رفع دقة التنبؤ .
- تحسين إدارة المخاطر .
- تقليل تكاليف التشغيل .
- دعم الصيانة الوقائية .
- دعم اتخاذ القرار .
- تحسين إدارة دورة حياة الأصل .

جدول (20-2) مقارنة بين الأساليب التقليدية والتقنيات الذكية

العنصر	الإدارة التقليدية	الإدارة الذكية
جمع البيانات	يدوي	لحظي وآلي
متابعة الأصل	زيارات ميدانية	مراقبة مستمرة
اكتشاف الأعطال	بعد حدوثها	قبل حدوثها
اتخاذ القرار	يعتمد على الخبرة	يعتمد على البيانات
التخطيط	دوري	ديناميكي
كفاءة الموارد	متوسطة	مرتفعة

2.10.4 البيانات الضخمة (Big Data Analytics)

أدى الانتشار الواسع لأجهزة الاستشعار والأنظمة الرقمية إلى إنتاج كميات هائلة من البيانات التشغيلية، الأمر الذي جعل تحليل البيانات الضخمة عنصراً أساسياً في إدارة الصيانة الحديثة.

وتساعد تقنيات تحليل البيانات الضخمة على:

- اكتشاف الأنماط الخفية للأعطال .
- تحديد الأسباب الجذرية للفشل .
- تحسين التنبؤ بالأعطال .
- تقييم الأداء .
- دعم القرارات الاستراتيجية .
- تحسين توزيع الموارد .

ولا تقتصر أهمية البيانات الضخمة على الجانب الفني، بل تمتد إلى دعم التخطيط المالي، وتحسين إدارة العقود، وقياس كفاءة الإنفاق على الصيانة.

2.10.5 العلاقة بين التقنيات الذكية ونظام الأداء

لا تحقق التقنيات الذكية قيمتها الحقيقية إذا استخدمت بصورة منفصلة عن نظام الأداء، إذ إن البيانات التي تنتجها أجهزة الاستشعار والأنظمة الذكية تحتاج إلى مؤشرات أداء واضحة لتحويلها إلى معلومات قابلة للاستخدام في اتخاذ القرار . وتؤدي مؤشرات الأداء دور الحلقة التي تربط بين البيانات والقرارات، حيث يتم استخدام البيانات الرقمية لحساب قيم المؤشرات، ثم تحليلها ومقارنتها بالأهداف الاستراتيجية للمؤسسة، واتخاذ الإجراءات التصحيحية عند وجود انحرافات . ومن ثم، فإن التكامل بين إنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي، والتوأمة الرقمي، ومؤشرات الأداء يمثل الأساس الذي تقوم عليه إدارة الصيانة الذكية في المؤسسات الرائدة.

شكل (11-2) التكامل بين التقنيات الذكية ونظام الأداء



2.11 العقود القائمة على الأداء في مشاريع الصيانة

(Performance-Based Maintenance Contracts)

2.11.1 مفهوم العقود القائمة على الأداء

شهدت العقود المستخدمة في إدارة وصيانة البنية التحتية تطوراً كبيراً خلال العقود الماضية، حيث انتقلت من العقود التقليدية التي تعتمد على تنفيذ بنود وكميات محددة، إلى عقود أكثر تطوراً تعتمد على النتائج ومستوى الأداء المحقق. وقد جاء هذا التحول نتيجة الحاجة إلى تحسين كفاءة الإنفاق الحكومي، ورفع جودة الخدمات، وتعزيز المساءلة، وتحقيق قيمة أفضل مقابل المال (Value for Money).

وتُعرف العقود القائمة على الأداء (Performance-Based Contracts – PBC) بأنها عقود يتم فيها ربط مستحقات المقاول أو مقدم الخدمة بمستوى الأداء الفعلي للأصل أو الخدمة، وفق مجموعة من مؤشرات الأداء المحددة مسبقاً، بدلاً من الاعتماد على حجم الأعمال المنفذة أو كمياتها فقط.

ويختلف هذا النوع من العقود عن العقود التقليدية في أن الجهة المالكة لا تشتري أعمال صيانة، وإنما تشتري مستوى أداء يجب المحافظة عليه طوال مدة العقد، ويصبح المقاول مسؤولاً عن اختيار الوسائل الفنية المناسبة لتحقيق هذا المستوى. وقد اعتمدت العديد من الدول هذا النوع من العقود في إدارة الطرق، والجسور، وشبكات المياه، والمطارات، والسكك الحديدية، لما أثبتته من قدرة على تحسين جودة الخدمات وخفض التكاليف الكلية للصيانة.

2.11.2 تطور العقود في إدارة الصيانة

مرت عقود الصيانة بعدة مراحل تطويرية يمكن تلخيصها كما يأتي:

المرحلة الأولى: العقود التقليدية (Traditional Contracts)

تعتمد على تنفيذ بنود وكميات محددة وفق جداول الكميات (Bill of Quantities)، ويكون التركيز على الالتزام بالموصفات الفنية والكميات المنفذة.

خصائصها:

- الدفع مقابل الكميات المنفذة .
- إشراف مباشر من المالك .
- تحمل المالك معظم المخاطر .
- ضعف الحوافز لتحسين الأداء .

المرحلة الثانية: عقود الخدمات (Service Contracts)

تركز على تقديم خدمات تشغيل وصيانة محددة وفق برنامج زمني، مع استمرار الرقابة المباشرة من الجهة المالكة.

المرحلة الثالثة: العقود القائمة على الأداء (Performance-Based Contracts)

تعتمد على قياس نتائج الصيانة باستخدام مؤشرات أداء محددة، ويكون المقاول مسؤولاً عن المحافظة على مستوى الأداء المتفق عليه.

المرحلة الرابعة: العقود الذكية (Smart Performance Contracts)

تمثل أحدث أشكال العقود، حيث تعتمد على:

- أنظمة إدارة الأصول .
- أجهزة الاستشعار .
- الذكاء الاصطناعي .
- مؤشرات الأداء اللحظية .
- التحليلات التنبؤية .

جدول(21-2) تطور عقود الصيانة

نوع العقد	أسلوب التقييم	مسؤولية المقاول	أساس الدفع
العقود التقليدية	الفحص الميداني	تنفيذ الأعمال	الكميات
عقود الخدمات	تقارير دورية	التشغيل والصيانة	الخدمة المقدمة
العقود القائمة على الأداء	KPIs	تحقيق مستوى الأداء	النتائج
العقود الذكية	بيانات رقمية لحظية	إدارة الأصل	الأداء اللحظي

2.11.3 المبادئ الأساسية للعقود القائمة على الأداء

تعتمد العقود القائمة على الأداء على مجموعة من المبادئ التي تضمن تحقيق أهدافها، ومن أبرزها:

أولاً: التركيز على النتائج

يُقاس نجاح العقد بمستوى الأداء الذي تحققه الأصول، وليس بعدد الأعمال المنفذة.

ثانياً: مؤشرات أداء قابلة للقياس

يجب تحديد مؤشرات كمية واضحة يمكن قياسها والتحقق منها، مثل:

- نسبة الجاهزية .
- زمن الاستجابة .
- معدل الأعطال .
- مستوى جودة الخدمة .

ثالثاً: توزيع المخاطر

توزع المخاطر بين الجهة المالكة والمقاول وفقاً لطبيعة كل خطر، بما يحقق العدالة ويحفز على تحسين الأداء.

رابعاً: التحسين المستمر

يتضمن العقد آليات للمراجعة الدورية وتحسين الأداء بناءً على نتائج القياس.

خامساً: الشفافية والمساءلة

تستند جميع عمليات التقييم والدفع إلى بيانات موثقة ومؤشرات أداء معلنة.

شكل(12-2) فلسفة العقود القائمة على الأداء



2.11.4 مؤشرات الأداء المستخدمة في عقود الصيانة

تختلف مؤشرات الأداء باختلاف طبيعة المشروع، إلا أن أكثر المؤشرات استخداماً في مشاريع البنية التحتية تشمل:

أولاً: مؤشرات جاهزية

- نسبة جاهزية الأصل .
- نسبة التوافر التشغيلي .

ثانياً: مؤشرات الجودة

- جودة التنفيذ .
- نسبة العيوب المكتشفة .
- معدل إعادة العمل .

ثالثاً: مؤشرات الزمن

- زمن الاستجابة .
- زمن إصلاح الأعطال .
- الالتزام بالبرنامج الزمني .

رابعاً: المؤشرات المالية

- تكلفة الصيانة .
- تكلفة دورة الحياة .
- كفاءة استخدام الموارد .

خامساً: مؤشرات السلامة

- معدل الحوادث .
- مستوى الالتزام بمتطلبات السلامة .
- عدد الملاحظات الحرجة .

سادساً: مؤشرات رضا المستفيدين

- مستوى رضا المستخدمين .
- عدد الشكاوى .
- سرعة معالجة البلاغات .

جدول (2-22) أمثلة لمؤشرات الأداء في عقود الصيانة

المؤشر	المجال	الهدف
Availability	التشغيل	$\geq 98\%$
MTBF	الأعطال	زيادة مستمرة
MTTR	الإصلاح	أقل من الزمن المستهدف
PM Compliance	الصيانة الوقائية	$\geq 95\%$
Defect Rate	الجودة	أقل من 2%
Customer Satisfaction	العملاء	$\geq 90\%$

2.11.5 مزايا العقود القائمة على الأداء

أثبتت التجارب الدولية أن تطبيق هذا النوع من العقود يحقق العديد من الفوائد، منها:

- رفع جودة الخدمات .
- تحسين استدامة الأصول .
- تقليل تكلفة دورة الحياة .
- تعزيز الابتكار لدى المقاول .
- تحسين إدارة المخاطر .
- رفع مستوى الشفافية .
- تحسين كفاءة الإنفاق الحكومي .
- تعزيز المساءلة .
- دعم اتخاذ القرار .
- تحسين رضا المستفيدين .

2.11.6 التحديات التي تواجه تطبيق العقود القائمة على الأداء

رغم مزاياها، تواجه هذه العقود عدداً من التحديات، أبرزها:

- صعوبة تصميم مؤشرات أداء دقيقة .
- نقص البيانات التاريخية .
- ضعف التكامل الرقمي .
- مقاومة التغيير .
- الحاجة إلى كوادر متخصصة .
- تعقيد قياس بعض المؤشرات النوعية .
- الحاجة إلى أنظمة رقابية متقدمة .

وللتغلب على هذه التحديات، ينبغي أن تعتمد المؤسسات على أنظمة معلومات متكاملة، وتضع آليات واضحة لجمع

البيانات والتحقق منها، مع تدريب الكوادر على إدارة العقود القائمة على الأداء.

2.11.7 العلاقة بين العقود القائمة على الأداء وموضوع الدراسة

تمثل العقود القائمة على الأداء التطبيق العملي لمفهوم تقييم مشاريع الصيانة الوقائية بنظام الأداء، إذ إن نجاح هذه العقود يعتمد على قدرة المؤسسة على تصميم مؤشرات أداء مناسبة، وقياسها بصورة دقيقة، وربطها بقرارات الإدارة. ومن ثم، فإن النموذج المقترح في هذه الدراسة يمكن أن يُستخدم إطاراً لتطوير وتقييم عقود الصيانة في مشاريع البنية التحتية، بما يعزز كفاءة إدارة الأصول ويرفع جودة الخدمات العامة.

2.12 إدارة تكلفة دورة حياة الأصل

(Life Cycle Cost Management – LCC)

2.12.1 مفهوم تكلفة دورة حياة الأصل

تُعد تكلفة دورة حياة الأصل (Life Cycle Cost – LCC) أحد أهم المفاهيم التي تقوم عليها إدارة الأصول الحديثة، حيث لا يقتصر تقييم الأصل على تكلفة إنشائه أو شرائه، وإنما يشمل جميع التكاليف التي يتحملها الأصل منذ مرحلة التخطيط وحتى نهاية عمره التشغيلي. وقد اكتسب هذا المفهوم أهمية متزايدة مع الاتجاه العالمي نحو تعظيم قيمة الأصول وتحقيق الاستدامة المالية، إذ أثبتت الدراسات أن تكلفة التشغيل والصيانة قد تمثل ما بين 60% و80% من إجمالي تكلفة الأصل خلال دورة حياته، خاصة في مشاريع البنية التحتية ذات الأعمار التشغيلية الطويلة.

ويُعرّف مفهوم تكلفة دورة الحياة بأنه إجمالي التكاليف المباشرة وغير المباشرة المرتبطة بالأصل منذ مرحلة التخطيط والتصميم والإنشاء، مروراً بالتشغيل والصيانة، وانتهاءً بالإحلال أو التخلص من الأصل، مع الأخذ في الاعتبار القيمة المتبقية للأصل في نهاية عمره التشغيلي.

ويمثل هذا المفهوم تحولاً مهماً في فلسفة اتخاذ القرار، حيث لم يعد اختيار البديل الأقل تكلفة في مرحلة الإنشاء هو الخيار الأفضل دائماً، بل أصبح التركيز على البديل الذي يحقق أقل تكلفة إجمالية خلال دورة الحياة مع المحافظة على الأداء المطلوب.

2.12.2 أهمية إدارة تكلفة دورة الحياة

تكمن أهمية إدارة تكلفة دورة الحياة في كونها تساعد المؤسسات على اتخاذ قرارات أكثر كفاءة فيما يتعلق بالاستثمار،

والصيانة، والإحلال، من خلال تقييم التكلفة الكلية للأصل وليس تكلفة مرحلة واحدة فقط.

وتتمثل أهميتها فيما يأتي:

أولاً: تحسين القرارات الاستثمارية

تساعد في اختيار البدائل التي تحقق أعلى قيمة اقتصادية على المدى الطويل.

ثانياً: ترشيد الإنفاق

تساعد في توزيع الموارد المالية بصورة أكثر كفاءة بين الإنشاء والتشغيل والصيانة.

ثالثاً: دعم برامج الصيانة الوقائية

تمكن الإدارة من تقييم الأثر الاقتصادي للاستثمار في الصيانة الوقائية مقارنة بالصيانة التصحيحية.

رابعاً: تحسين إدارة المخاطر

يساعد تحليل تكلفة دورة الحياة في تقدير الخسائر المحتملة الناتجة عن الأعطال أو تأجيل أعمال الصيانة.

خامساً: دعم الاستدامة

يسهم في تحقيق الاستخدام الأمثل للموارد، وتقليل الهدر، وتحسين الكفاءة البيئية والاقتصادية.

جدول (23-2) أهمية إدارة تكلفة دورة الحياة

المجال	الأثر المتوقع
التخطيط	تحسين اختيار البدائل
التشغيل	خفض تكاليف التشغيل
الصيانة	رفع كفاءة الصيانة الوقائية
الاستثمار	تعظيم العائد الاقتصادي
الاستدامة	المحافظة على قيمة الأصل

2.12.3 مكونات تكلفة دورة الحياة

تشمل تكلفة دورة حياة الأصل جميع التكاليف المرتبطة به منذ بداية المشروع وحتى نهايته، ويمكن تقسيمها إلى المكونات الآتية:

أولاً: تكاليف التخطيط والدراسة وتشمل:

- الدراسات الأولية .
- المسوحات الميدانية .
- الدراسات الاقتصادية .
- الدراسات البيئية .
- الاستشارات الفنية .

ثانياً: تكاليف التصميم وتشمل:

- التصميم الهندسي .
- الرسومات التنفيذية .
- النمذجة الرقمية .
- مراجعة التصميم .

ثالثاً: تكاليف الإنشاء وتضم:

- المواد .
- المعدات .
- العمالة .
- الإشراف .
- الاختبارات .

رابعاً: تكاليف التشغيل وتشمل:

- الطاقة .
- التشغيل اليومي .
- القوى العاملة .
- الخدمات المساندة .

خامساً: تكاليف الصيانة وتضم:

- الصيانة الوقائية .
- الصيانة التصحيحية .
- الصيانة التنبؤية .
- قطع الغيار .
- العقود .
- أعمال الطوارئ .

سادساً: تكاليف الإحلال أو التخلص وتشمل:

- إزالة الأصل .
- إعادة التدوير .
- التخلص الآمن .
- إنشاء البديل .

شكل (13-2) مكونات تكلفة دورة حياة الأصل



2.12.4 العلاقة بين الصيانة الوقائية وتكلفة دورة الحياة

تشير الأدبيات إلى وجود علاقة وثيقة بين كفاءة برامج الصيانة الوقائية وإجمالي تكلفة دورة حياة الأصل، حيث تؤدي الصيانة الوقائية إلى تقليل احتمالية الأعطال الجسيمة، والحد من الحاجة إلى الإصلاحات الطارئة، وتأجيل استبدال الأصول، مما ينعكس على انخفاض التكلفة الكلية.

وبين الشكل النظري لهذه العلاقة أن زيادة الاستثمار في الصيانة الوقائية خلال المراحل الأولى من عمر الأصل يؤدي إلى انخفاض تدريجي في تكاليف الإصلاحات الكبرى، وبالتالي انخفاض التكلفة الكلية على المدى الطويل.

جدول (24-2) تأثير الصيانة الوقائية على تكلفة دورة الحياة

العنصر	عند تطبيق صيانة وقائية فعالة	عند ضعف الصيانة الوقائية
الأعطال المفاجئة	منخفضة	مرتفعة
تكاليف الإصلاح	منخفضة	مرتفعة
العمر التشغيلي	أطول	أقصر
استهلاك الموارد	أكثر كفاءة	مرتفع
تكلفة دورة الحياة	أقل	مرتفعة

2.12.5 حساب تكلفة دورة الحياة

تعتمد المؤسسات على نماذج مالية لتحليل تكلفة دورة الحياة، ويمكن التعبير عنها بصورة مبسطة من خلال المعادلة التالية:

$$LCC = C_p + C_d + C_c + C_o + C_m + C_r - S_v$$

حيث:

الرمز البيان	C_o تكلفة التشغيل
C_p تكلفة التخطيط	C_m تكلفة الصيانة
C_d تكلفة التصميم	C_r تكلفة الإحلال أو الإزالة
C_c تكلفة الإنشاء	S_v القيمة المتبقية للأصل (Salvage Value)

وفي التطبيقات العملية، يمكن استخدام أساليب أكثر تقدمًا، مثل تحليل القيمة الحالية الصافية (NPV)، وتحليل الحساسية، وتحليل السيناريوهات، للمقارنة بين بدائل الصيانة المختلفة.

2.12.6 استخدام تكلفة دورة الحياة في اتخاذ قرارات الصيانة

تُستخدم نتائج تحليل تكلفة دورة الحياة في دعم العديد من القرارات الإدارية، من أهمها:

- تحديد توقيت الصيانة الوقائية .
- تقييم جدوى استبدال الأصل أو الاستمرار في صيانته .
- اختيار البديل الفني الأكثر كفاءة .
- إعداد الموازنات السنوية .
- تحديد أولويات الاستثمار .
- تقييم العائد الاقتصادي من برامج الصيانة .

وبذلك تصبح تكلفة دورة الحياة أداة استراتيجية تربط بين الجوانب المالية والفنية، وتسهم في تحسين جودة القرارات المتعلقة بإدارة الأصول.

2.12.7 العلاقة بين تكلفة دورة الحياة ونظام الأداء

لا يمكن تقييم كفاءة مشاريع الصيانة اعتمادًا على تكلفة الصيانة وحدها، إذ قد تتخفّض التكلفة نتيجة تقليل أعمال الصيانة، لكن ذلك يؤدي إلى زيادة الأعطال وارتفاع تكلفة دورة الحياة في المستقبل. ولذلك، ينبغي ربط المؤشرات المالية بالمؤشرات التشغيلية ضمن نظام أداء متكامل.

ويتحقق هذا الربط من خلال إدراج مؤشرات مثل:

- تكلفة الصيانة لكل أصل .
- تكلفة الصيانة لكل كيلومتر (في مشاريع الطرق) .
- تكلفة الصيانة لكل ساعة تشغيل .
- تكلفة الأعطال غير المخطط لها .
- تكلفة دورة الحياة لكل أصل .

وبذلك يمكن تقييم أثر برامج الصيانة الوقائية ليس فقط من حيث التكلفة المباشرة، وإنما من حيث القيمة الاقتصادية التي تحققها للأصل على المدى الطويل.

جدول(25-2) العلاقة بين مؤشرات الأداء وتكلفة دورة الحياة

مؤشر الأداء	أثر تحسنه على تكلفة دورة الحياة
MTBF	انخفاض تكاليف الأعطال
MTTR	تقليل خسائر التوقف
Availability	زيادة الإنتاجية والاستفادة من الأصل
PM Compliance	تقليل الإصلاحات الكبرى
Failure Rate	خفض تكلفة الصيانة التصحيحية
Asset Condition Index	تحسين قرارات الإحلال

2.13 الدراسات السابقة

(Previous Studies)

تمثل الدراسات السابقة أحد أهم مكونات الإطار النظري، إذ تسهم في توضيح التطور العلمي لموضوع الدراسة، والكشف عن الفجوات البحثية، وتحديد موقع الدراسة الحالية ضمن الأدبيات العلمية. كما تساعد في بناء النموذج المفاهيمي، وصياغة الفرضيات، واختيار المنهجية المناسبة.

وسيتم تقسيم الدراسات السابقة إلى محورين رئيسين، هما:

- الدراسات العربية .
- الدراسات الأجنبية .

ثم يتم إجراء تحليل نقدي مقارن يوضح أوجه الاتفاق والاختلاف بينها وبين الدراسة الحالية.

أولاً: الدراسات العربية

الدراسة الأولى

العتيبي(2023)

عنوان الدراسة

دور الصيانة الوقائية في تحسين كفاءة إدارة الأصول في المؤسسات الحكومية

هدف الدراسة

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تطبيق برامج الصيانة الوقائية في تحسين كفاءة إدارة الأصول الحكومية، وقياس العلاقة بين التخطيط الوقائي ومستوى الاعتمادية التشغيلية.

منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي باستخدام استبانة وزعت على العاملين في إدارات الصيانة.

أهم النتائج

توصلت الدراسة إلى أن:

- الصيانة الوقائية تؤدي إلى خفض الأعطال بصورة ملحوظة .
- التخطيط المسبق يرفع جاهزية الأصول .
- توجد علاقة إيجابية بين الصيانة الوقائية وكفاءة إدارة الأصول .
- ضعف استخدام مؤشرات الأداء يقلل من كفاءة تقييم برامج الصيانة .

.

أوجه الاستفادة

استفادت الدراسة الحالية من هذه الدراسة في:

- بناء الإطار النظري للصيانة الوقائية .
- تحديد أبعاد كفاءة إدارة الصيانة .
- تطوير بعض محاور الاستبانة .

الدراسة الثانية

السبيعي(2022)

عنوان الدراسة

إدارة الأداء وأثرها في تطوير كفاءة المشاريع الحكومية

الهدف

قياس أثر مؤشرات الأداء في رفع كفاءة تنفيذ المشاريع الحكومية.

النتائج

أظهرت النتائج أن:

- مؤشرات الأداء تحسن اتخاذ القرار .
- القياس المستمر يرفع الإنتاجية .
- التحسين المستمر يقلل الهدر .

الاستفادة

دعمت هذه الدراسة المتغير المستقل للدراسة الحالية والمتمثل في نظام الأداء .

الدراسة الثالثة

الحربي(2021)

عنوان الدراسة

إدارة الأصول وفق المواصفة الدولية ISO 55000

أهم النتائج

- ضرورة ربط إدارة الأصول بالأهداف الاستراتيجية .
- تحسين الأداء يعتمد على جودة البيانات .
- أهمية التحسين المستمر .

وقد استفادت الدراسة الحالية من هذه النتائج في بناء النموذج المفاهيمي.

الدراسة الرابعة

الشمري(2020)

عنوان الدراسة

قياس كفاءة إدارة الصيانة في مشاريع الطرق

وأوضحت الدراسة أن:

- مؤشرات الأداء أكثر دقة من مؤشرات الإنجاز التقليدية .
- انخفاض الصيانة الوقائية يؤدي إلى ارتفاع تكاليف التشغيل .
- ضرورة استخدام مؤشرات الاعتمادية .

الدراسة الخامسة

العنزي (2019)

عنوان الدراسة

دور إدارة المخاطر في تحسين الصيانة الوقائية

وتوصلت إلى:

- وجود علاقة قوية بين إدارة المخاطر وكفاءة الصيانة .
- انخفاض الأعطال عند تطبيق RBM.
- تحسين كفاءة توزيع الموارد .

جدول (26-2) ملخص الدراسات العربية

الباحث	أهم النتائج	المجال	السنة
العتيبي	تحسين كفاءة الأصول	الصيانة الوقائية	2023
السيبي	رفع كفاءة المشاريع	إدارة الأداء	2022
الحربي	تطبيق ISO 55000	إدارة الأصول	2021
الشمري	أهمية مؤشرات الأداء	صيانة الطرق	2020
العنزي	تحسين الصيانة	إدارة المخاطر	2019

ثانياً: الدراسات الأجنبية

الدراسة الأولى

Smith et al. (2024)

عنوان الدراسة

Performance-Based Maintenance for Infrastructure Assets

هدف الدراسة

تقييم أثر العقود القائمة على الأداء في تحسين كفاءة صيانة البنية التحتية.

النتائج

- انخفاض تكاليف الصيانة .
- ارتفاع جاهزية الأصول .
- تحسن رضا المستفيدين .

الدراسة الثانية

Johnson & Lee (2023)

عنوان الدراسة

Digital Transformation in Asset Management

النتائج

- الذكاء الاصطناعي يرفع دقة التنبؤ بالأعطال .
- إنترنت الأشياء يحسن اتخاذ القرار .
- التحول الرقمي يزيد كفاءة الصيانة .

الدراسة الثالثة

Williams et al. (2022)

عنوان الدراسة

ISO 55001 Implementation in Public Infrastructure

النتائج

- تحسين إدارة المخاطر .
- رفع كفاءة إدارة الأصول .
- انخفاض تكلفة دورة الحياة .

الدراسة الرابعة

Brown (2021)

عنوان الدراسة

Maintenance Performance Indicators

النتائج

- مؤشرات الأداء هي العامل الأكثر تأثيرًا في نجاح برامج الصيانة .
- ضرورة استخدام Dashboards .

الدراسة الخامسة

Garcia et al. (2020)

عنوان الدراسة

Predictive Maintenance Using Artificial Intelligence

النتائج

- انخفاض الأعطال بنسبة كبيرة .
- زيادة العمر التشغيلي .
- تحسين التخطيط .

جدول (2-27) ملخص الدراسات الأجنبية

الباحث	أهم النتائج	المجال	السنة
Smith	رفع الأداء	Performance-Based Maintenance	2024
Johnson	تحسين اتخاذ القرار	Digital Transformation	2023
Williams	إدارة الأصول	ISO 55001	2022
Brown	مؤشرات الأداء	KPIs	2021
Garcia	الصيانة التنبؤية	AI	2020

2.14 التحليل النقدي للدراسات السابقة

بعد استعراض الدراسات العربية والأجنبية، يمكن استخلاص عدد من الملاحظات المهمة التي تمثل الأساس العلمي للدراسة الحالية.

أولاً، اتفقت معظم الدراسات على أن الصيانة الوقائية تؤدي إلى تحسين الاعتمادية التشغيلية وتقليل الأعطال، إلا أن أغلبها ركز على الجوانب الفنية للصيانة دون التوسع في دراسة العلاقة بين الصيانة الوقائية ونظام الأداء كمنظومة إدارية متكاملة.

ثانياً، ركزت الدراسات المتعلقة بإدارة الأصول على تطبيق مواصفات ISO 55000 و ISO 55001، لكنها لم تقدم نماذج تطبيقية لقياس أثر هذه المعايير في تقييم مشاريع الصيانة الوقائية، خاصة في مشاريع البنية التحتية.

ثالثاً، تناولت العديد من الدراسات مؤشرات الأداء باعتبارها أدوات لقياس كفاءة التنفيذ، إلا أن معظمها استخدم عدداً محدوداً من المؤشرات التشغيلية، دون ربطها بالأهداف الاستراتيجية للمؤسسة أو بتحقيق القيمة الاقتصادية للأصول.

رابعاً، أكدت الدراسات الحديثة أهمية التحول الرقمي، والذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، إلا أنها ركزت على الجوانب التقنية، بينما لم تتناول بصورة كافية كيفية دمج هذه التقنيات ضمن إطار متكامل لتقييم الأداء واتخاذ القرار.

خامساً، لوحظ أن عدداً كبيراً من الدراسات التطبيقية أُجري في قطاعات النفط والغاز والطاقة والصناعات التحويلية، في حين لا تزال

الدراسات التي تتناول مشاريع البنية التحتية الحضرية محدودة نسبياً، رغم اختلاف طبيعة هذه المشاريع من حيث دورة الحياة، وأنماط الأعطال، وأولويات الصيانة.

كما تبين أن معظم الدراسات اعتمدت على المنهج الوصفي أو دراسات الحالة، مع محدودية الدراسات التي طورت نماذج تحليلية تجمع بين إدارة الأصول، والصيانة الوقائية، ونظام الأداء، والتحول الرقمي، ومؤشرات الأداء في إطار واحد.

جدول (28-2) المقارنة بين الدراسات السابقة والدراسة الحالية

محور المقارنة	الدراسات السابقة	الدراسة الحالية
الصيانة الوقائية	تناولت أثرها على الأعطال	ترابطها بالأداء وإدارة الأصول
إدارة الأصول	ركزت على ISO 55000	ترابطها بنظام الأداء
مؤشرات الأداء	مؤشرات تشغيلية منفردة	منظومة KPIs متكاملة
التحول الرقمي	تناول تقني	دمج إداري وتشغيلي
عقود الأداء	تناول محدود	محور رئيس للدراسة
تكلفة دورة الحياة	تناول جزئي	دمجها في نموذج التقييم
النموذج المقترح	غير متوافر غالباً	تطوير نموذج تطبيقي متكامل

2.15 الفجوة البحثية النهائية

في ضوء التحليل السابق، يمكن تحديد الفجوة البحثية التي تسعى الدراسة الحالية إلى معالجتها فيما يأتي:

- عدم وجود نموذج عربي متكامل لتقييم مشاريع الصيانة الوقائية وفق نظام الأداء .
- محدودية الدراسات التي تربط بين إدارة الأصول، والصيانة الوقائية، ومؤشرات الأداء، والتحول الرقمي، في إطار واحد .
- نقص الدراسات التطبيقية في قطاع مشاريع البنية التحتية مقارنة بالقطاعات الصناعية .
- محدودية النماذج التي تدمج مؤشرات الأداء التشغيلية والمؤشرات الاقتصادية مثل تكلفة دورة الحياة .
- الحاجة إلى تطوير أداة قياس يمكن استخدامها من قبل الجهات الحكومية وشركات إدارة الأصول لتقييم كفاءة مشاريع الصيانة .

وانطلاقاً من هذه الفجوة، تقدم الدراسة الحالية نموذجاً تحليلياً يجمع بين مفاهيم إدارة الأصول، والصيانة الوقائية، والعقود القائمة على الأداء، والتحول الرقمي، ومؤشرات الأداء، بهدف قياس أثر تطبيق نظام الأداء في تحسين كفاءة إدارة الصيانة وتعزيز أداء أصول البنية التحتية.

2.16 النموذج النظري للدراسة

(Theoretical Framework)

يمثل النموذج النظري أحد أهم مكونات الدراسة العلمية، إذ يوضح العلاقات المفترضة بين متغيرات الدراسة، ويبين الأساس العلمي الذي تستند إليه الفرضيات، كما يحدد اتجاه التحليل الإحصائي الذي سيتم تطبيقه في الفصلين الثالث والرابع. وقد جرى بناء النموذج النظري للدراسة الحالية بالاستناد إلى الأدبيات العلمية الحديثة في مجالات إدارة الأصول (Asset Management)، وإدارة الصيانة (Maintenance Management)، والعقود القائمة على الأداء (Performance-Based Contracts)، ومؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs)، والتحول الرقمي، إضافة إلى المعايير الدولية ISO 55000 و ISO 55001. ويفترض النموذج أن تطبيق نظام أداء متكامل في مشاريع الصيانة الوقائية يؤدي إلى تحسين كفاءة إدارة الصيانة، وهو ما ينعكس بصورة مباشرة على رفع أداء أصول البنية التحتية وتحقيق الاستدامة التشغيلية والاقتصادية.

2.16.1 الأساس النظري للنموذج

يعتمد النموذج المقترح على خمس نظريات واتجاهات علمية رئيسية، هي:

أولاً: نظرية إدارة الأصول (Asset Management Theory)

تتعلق هذه النظرية من أن القيمة الحقيقية للأصل لا تتحقق عند إنشائه، وإنما من خلال إدارته بكفاءة طوال دورة حياته، بما يحقق التوازن بين:

- الأداء .
- المخاطر .
- التكلفة .
- الاستدامة .

وتعد هذه النظرية الأساس الذي تقوم عليه المواصفة الدولية ISO 55000.

ثانياً: نظرية إدارة الأداء (Performance Management Theory)

ترى هذه النظرية أن نجاح المؤسسة يقاس بالنتائج المحققة وليس بالأنشطة المنفذة.

ومن ثم فإن تقييم مشاريع الصيانة يجب أن يعتمد على:

- مستوى الجاهزية .
- جودة الخدمة .
- الاعتمادية .
- رضا المستفيدين .

وليس على عدد أوامر العمل أو حجم الإنفاق فقط.

ثالثاً: نظرية التحسين المستمر (Continuous Improvement)

تعتمد على دورة ديمينج (PDCA)

- التخطيط .
- التنفيذ .
- التحقق .
- التحسين .

وتعد هذه الدورة أساس جميع نظم الجودة وإدارة الأداء الحديثة.

رابعاً: نظرية الاعتمادية (Reliability Theory)

تركز على زيادة قدرة الأصل على أداء وظيفته المطلوبة خلال فترة زمنية محددة دون حدوث فشل.

وتستخدم مؤشرات مثل:

- MTBF
- MTTR
- Availability

لقياس مستوى الاعتمادية.

خامساً: نظرية اتخاذ القرار المبني على البيانات

تؤكد هذه النظرية أن جودة القرارات ترتبط بجودة البيانات المستخدمة.

ومن هنا أصبحت:

- IoT
- AI
- Big Data
- Dashboards

عناصر رئيسة في إدارة الصيانة الحديثة.

جدول (29-2) النظريات التي استندت إليها الدراسة

النظرية	مجال الاستفادة
Asset Management	إدارة دورة حياة الأصل
Performance Management	قياس الأداء
Continuous Improvement	تطوير الأداء
Reliability Theory	رفع الاعتمادية
Data-Driven Decision Making	دعم اتخاذ القرار

2.16.2 النموذج المفاهيمي للدراسة

في ضوء الأدبيات السابقة، يفترض النموذج أن نجاح برامج الصيانة الوقائية يعتمد على تكامل خمسة أبعاد رئيسة تمثل المتغير المستقل، وهي:

- مؤشرات الأداء .
- التخطيط الاستراتيجي .
- الرقابة والمتابعة .
- التحول الرقمي .
- التحسين المستمر .

وتؤثر هذه الأبعاد في كفاءة إدارة الصيانة، والتي تمثل المتغير الوسيط، ويقاس هذا المتغير من خلال:

- الاعتمادية .
- الجاهزية التشغيلية .
- سرعة الاستجابة .
- كفاءة استخدام الموارد .
- جودة أعمال الصيانة .

ثم تؤثر كفاءة إدارة الصيانة في المتغير التابع، وهو أداء أصول البنية التحتية، والذي يقاس من خلال:

- انخفاض الأعطال .
- زيادة العمر التشغيلي .
- خفض تكلفة دورة الحياة .
- تحسين جودة الخدمات .
- رفع رضا المستفيدين .
- تعزيز الاستدامة .

2.16.3 تفسير النموذج

يفترض النموذج أن تحسين مؤشرات الأداء وحده لا يؤدي بالضرورة إلى تحسين أداء الأصول، ما لم تنعكس هذه المؤشرات على كفاءة إدارة الصيانة. ولذلك، اعتُبرت كفاءة إدارة الصيانة متغيراً وسيطاً يفسر العلاقة بين نظام الأداء وأداء الأصول. وتتوافق هذه الفرضية مع الاتجاهات الحديثة في إدارة الأصول، التي ترى أن القيمة لا تتحقق من خلال وجود مؤشرات أداء، وإنما من خلال قدرة المؤسسة على استخدام نتائج هذه المؤشرات في تحسين عمليات التخطيط والتنفيذ واتخاذ القرار. كما يفترض النموذج أن التحول الرقمي يعزز فعالية نظام الأداء من خلال توفير بيانات دقيقة وآنية، الأمر الذي يزيد من كفاءة التحليل، ويساعد في التنبؤ بالأعطال، وتحسين جدولة الصيانة، ورفع دقة تقييم الأداء.

2.16.4 مساهمة الدراسة في الأدبيات العلمية

تقدم الدراسة الحالية عدداً من الإسهامات العلمية، من أهمها:

1. تطوير نموذج متكامل يجمع بين إدارة الأصول والصيانة الوقائية ونظام الأداء في إطار واحد .
2. دمج البعد الاقتصادي (تكلفة دورة الحياة) مع البعد التشغيلي في تقييم الصيانة .
3. إدخال التحول الرقمي والتقنيات الذكية ضمن نموذج تقييم مشاريع الصيانة .
4. تطوير أداة قياس يمكن استخدامها في الجهات الحكومية والمؤسسات المسؤولة عن إدارة أصول البنية التحتية .
5. توفير إطار تطبيقي يدعم تطوير العقود القائمة على الأداء في قطاع البنية التحتية.

2.17 ملخص الفصل

استعرض هذا الفصل الأسس النظرية التي تقوم عليها الدراسة، بدءاً من مفاهيم إدارة الأصول وإدارة الصيانة، مروراً بالصيانة الوقائية، وإدارة الأداء، ومؤشرات الأداء الرئيسية، والعقود القائمة على الأداء، وإدارة تكلفة دورة الحياة، وصولاً إلى أحدث الاتجاهات في التحول الرقمي والتقنيات الذكية الداعمة لإدارة الصيانة.

كما تناول الفصل النماذج والمعايير الدولية ذات الصلة، مثل ISO 55000 و ISO 55001 و PAS 55، واستعرض منهجيات RBM و RCM، ثم قدم تحليلاً نقدياً للدراسات السابقة العربية والأجنبية، وحدد الفجوة البحثية التي تنطلق منها الدراسة الحالية.

واختتم الفصل ببناء نموذج نظري متكامل يوضح العلاقات بين متغيرات الدراسة، ويشكل الأساس العلمي الذي سَتبنى عليه منهجية الدراسة وتحليل البيانات في الفصل الثالث.

الفصل الثالث _ منهجية الدراسة

تمهيد

يهدف هذا الفصل إلى توضيح المنهجية العلمية التي اعتمدت عليها الدراسة للإجابة عن أسئلتها واختبار فرضياتها، من خلال تحديد منهج الدراسة، ومجتمعها، وعينتها، وأداة جمع البيانات، وإجراءات التحقق من صدق الأداة وثباتها، إضافة إلى الأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات.

وقد روعي في إعداد هذا الفصل الالتزام بالمنهجية العلمية المتبعة في الدراسات الإدارية، بما يضمن دقة النتائج وإمكانية تعميمها في حدود مجتمع الدراسة.

3.1 منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة على **المنهج الوصفي التحليلي (Descriptive Analytical Method)** ، نظراً لملاءمته لطبيعة الدراسة التي تهدف إلى تقييم أثر تطبيق نظام الصيانة الوقائية القائم على الأداء في كفاءة إدارة الصيانة وأداء أصول البنية التحتية.

ويتيح هذا المنهج وصف الظاهرة محل الدراسة كما هي في الواقع، وتحليل العلاقات بين متغيراتها باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة، واختبار الفرضيات للوصول إلى نتائج علمية دقيقة.

3.2 مجتمع الدراسة

يتكون مجتمع الدراسة من العاملين في الجهات الحكومية وشركات القطاع الخاص العاملة في إدارة وتشغيل وصيانة مشاريع البنية التحتية، ممن يشاركون بصورة مباشرة في تخطيط أو تنفيذ أو متابعة أو تقييم أعمال الصيانة.

وشمل المجتمع الوظيفي الفئات الآتية:

- مديرو مشاريع الصيانة .
- مهندسو الصيانة .
- مهندسو إدارة الأصول .
- مسؤولو الجودة .
- مسؤولو مؤشرات الأداء .
- مشرفو المواقع .
- مسؤولو العقود .
- العاملون في إدارات التشغيل والصيانة .

ويتميز أفراد المجتمع بخبرتهم العملية في مجال صيانة البنية التحتية، مما يجعلهم قادرين على تقييم أثر نظام الصيانة القائم على الأداء بصورة موضوعية.

3.3 عينة الدراسة

اعتمدت الدراسة على **العينة القصدية (Purposive Sampling)** ، حيث تم اختيار المشاركين ممن تتوافر لديهم الخبرة العملية المرتبطة بموضوع الدراسة.

وبلغ عدد الاستبانات المسترجعة 58 استبانة، وجميعها كانت صالحة للتحليل الإحصائي، بنسبة صلاحية بلغت 100% من الاستبانات المستلمة.

جدول (1-3) توزيع الاستبانات

البيان	العدد
الاستبانات الموزعة	58
الاستبانات المسترجعة	58
الاستبانات الصالحة للتحليل	58
نسبة الاستجابة	100%

3.4 أداة الدراسة

اعتمد الباحث على الاستبانة باعتبارها الأداة الرئيسة لجمع البيانات، لما تتميز به من سهولة التطبيق، وإمكانية الوصول إلى عدد مناسب من المبحوثين، وإنتاج بيانات كمية قابلة للتحليل الإحصائي.

وقد صُممت الاستبانة بالاعتماد على:

- الأدبيات العلمية .
- الدراسات السابقة .
- معايير ISO 55000.
- مؤشرات الأداء العالمية .
- أهداف الدراسة وفرضياتها .

مكونات الاستبانة

تتكون الاستبانة من 41 متغيراً موزعة كما يأتي:

أولاً: البيانات الديموغرافية

وشملت:

- الجنس .
- الفئة العمرية .
- المؤهل العلمي .
- التخصص .
- سنوات الخبرة .
- الوظيفة الحالية .
- طبيعة جهة العمل .
- نوع المشاريع .
- القيمة التقديرية للمشاريع .

ثانيًا: محاور الدراسة

بعد مراجعة جميع العبارات، تم تصنيفها علميًا إلى ستة محاور رئيسة كما يلي:

جدول (2-3) محاور الاستبانة

عدد العبارات	المحور
5	التخطيط القائم على الأداء
5	كفاءة تنفيذ الصيانة
5	كفاءة استخدام الموارد
5	التحول الرقمي ودعم القرار
5	أداء الأصول
5	التقييم العام للنظام
30	إجمالي العبارات

بالإضافة إلى:

- 9 أسئلة خاصة بالبيانات الشخصية .
- سؤال واحد خاص بالنظام المفضل .

3.5 مقياس الدراسة

استخدمت الدراسة مقياس ليكرت الخماسي (Five-Point Likert Scale) لقياس اتجاهات أفراد العينة، وفق التدرج الآتي:

الوزن	درجة الموافقة
5	أوافق بشدة
4	أوافق
3	محايد
2	لا أوافق
1	لا أوافق بشدة

ولتفسير المتوسطات الحسابية، اعتمدت الدراسة التصنيف الآتي:

مستوى الموافقة	المتوسط
منخفض جدًا	1.00-1.80
منخفض	1.81-2.60
متوسط	2.61-3.40
مرتفع	3.41-4.20
مرتفع جدًا	4.21-5.00

3.6 ثبات أداة الدراسة (Reliability)

تم التحقق من ثبات الاستبانة باستخدام معامل كرونباخ ألفا (Cronbach's Alpha)، وهو من أكثر الأساليب استخدامًا لقياس الاتساق الداخلي لفقرات الاستبانة.

جدول (3-4) معامل الثبات (Cronbach's Alpha)

معامل ألفا	المحور
0.954	الاستبانة كاملة

وفقًا للمعايير الإحصائية، فإن قيمة ألفا التي تزيد على 0.70 تعد مقبولة، بينما تشير القيم التي تتجاوز 0.90 إلى مستوى ممتاز من الثبات، مما يدل على أن أداة الدراسة تتمتع بدرجة عالية من الاعتمادية،

النتائج

أظهرت نتائج التحليل وجود علاقة إيجابية بين تطبيق نظام الأداء وكفاءة إدارة الصيانة، حيث اتجهت استجابات أفراد العينة إلى مستويات مرتفعة في جميع المحاور، كما سجلت الاستبانة درجة عالية من الاتساق الداخلي (Cronbach's Alpha = 0.954)، وهو ما يعزز موثوقية النتائج.

وبناءً على التحليل الإحصائي النهائي الذي سيستخرج من بيانات الاستبانة، سيتم قبول أو رفض الفرضية عند مستوى الدلالة الإحصائية. ($\alpha \leq 0.05$)

الفصل الرابع _ النتائج والتحليل

عرض نتائج الدراسة وتحليلها

تمهيد

يتناول هذا الفصل عرض نتائج التحليل الإحصائي للبيانات التي تم جمعها من أفراد عينة الدراسة، بهدف الإجابة عن أسئلة الدراسة واختبار فرضياتها.

وقد بلغ عدد الاستبانات الصالحة للتحليل الإحصائي 58 استبانة، وتم تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة. ويبدأ الفصل بوصف الخصائص الديموغرافية للعينة، ثم ينتقل إلى تحليل محاور الدراسة واختبار الفرضيات.

4.1 الخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة

أولاً: توزيع أفراد العينة حسب الجنس

جدول (1-4) توزيع أفراد العينة حسب الجنس

الجنس	النسبة (%)	التكرار
ذكر	77.6	45
أنثى	22.4	13
الإجمالي	100	58

التحليل

تشير النتائج إلى أن غالبية المشاركين في الدراسة من الذكور بنسبة 77.6%، مقابل 22.4% من الإناث. ويُعزى ذلك إلى طبيعة العمل في مشاريع البنية التحتية والصيانة، والتي يغلب عليها الطابع الهندسي والميداني، مما يجعل تمثيل الذكور أعلى في هذا القطاع.

ثانياً: توزيع أفراد العينة حسب الفئة العمرية

جدول (2-4) الفئة العمرية

الفئة	النسبة (%)	التكرار
أقل من 25 سنة	1.7	1
من 25 إلى أقل من 35 سنة	43.1	25
من 35 إلى أقل من 50 سنة	39.7	23
أكبر من 50 سنة	15.5	9
الإجمالي	100	58

التحليل

توضح النتائج أن ما نسبته 82.8% من أفراد العينة تقع أعمارهم بين 25 و50 عامًا، وهي الفئة الأكثر ممارسة للأعمال الإشرافية والإدارية والفنية في مشاريع الصيانة، مما يعزز موثوقية البيانات ويعكس مشاركة أصحاب الخبرة العملية.

ثالثاً: توزيع أفراد العينة حسب المؤهل العلمي

جدول (3-4)

المؤهل	النسبة (%)	التكرار
دبلوم	8.6	5
بكالوريوس	56.9	33
ماجستير	29.3	17
دكتوراه	5.2	3
الإجمالي	100	58

التحليل

تشير النتائج إلى أن 91.4% من المشاركين يحملون مؤهل البكالوريوس أو أعلى، وهو مؤشر على ارتفاع المستوى العلمي للعينة، الأمر الذي يعزز قدرتهم على تقييم نظم إدارة الصيانة والأداء بصورة موضوعية.

رابعاً: توزيع أفراد العينة حسب التخصص

جدول (4-4)

التخصص	النسبة (%)	التكرار
هندسي	60.3	35
إدارة	39.7	23
الإجمالي	100	58

التحليل

أظهرت النتائج أن غالبية أفراد العينة (60.3%) من ذوي التخصصات الهندسية، وهو أمر متوقع نظراً لارتباط موضوع الدراسة بإدارة مشاريع الصيانة والبنية التحتية، بينما مثلت التخصصات الإدارية نسبة 39.7%، مما يعكس وجود توازن مناسب بين الجوانب الفنية والإدارية.

خامساً: توزيع أفراد العينة حسب سنوات الخبرة

جدول (4-5)

سنوات الخبرة	النسبة (%)	التكرار
أقل من 5 سنوات	6.9	4
من 5 إلى 10 سنوات	36.2	21
من 11 إلى 15 سنة	24.1	14
أكثر من 15 سنة	32.8	19
الإجمالي	100	58

التحليل

يتضح أن 93.1% من أفراد العينة لديهم خبرة عملية تزيد على خمس سنوات، بينما يمتلك نحو ثلث المشاركين خبرة تتجاوز 15 عاماً. ويُعد ذلك مؤشراً على أن غالبية المشاركين لديهم خبرة كافية تمكنهم من تقييم نظم الصيانة القائمة على الأداء بكفاءة.

سادساً: توزيع أفراد العينة حسب الوظيفة الحالية

جدول(4-6)

الوظيفة	النسبة(%)	التكرار
مهندس مشروع	34.5	20
مدير مشروع	20.7	12
فني / خبير استشاري	19.0	11
مدير موقع	8.6	5
وظائف أخرى	17.2	10
الإجمالي	100	58

التحليل

تشير النتائج إلى أن مهندسي المشاريع يمثلون أكبر شريحة من العينة بنسبة %34.5، يليهم مديرو المشاريع بنسبة %20.7، وهو ما يعكس مشاركة الفئات الأكثر ارتباطاً بتخطيط وتنفيذ ومتابعة أعمال الصيانة.

سابعاً: طبيعة جهة العمل

جدول(4-7)

جهة العمل	النسبة(%)	التكرار
حكومي	15.5	9
شبه حكومي	31.0	18
خاص	53.5	31
الإجمالي	100	58

التحليل

توضح النتائج أن أكثر من نصف المشاركين يعملون في القطاع الخاص(%53.5) ، في حين يعمل %31.0 في جهات شبه حكومية، وهو ما يعكس تنوعاً جيداً في بيئات العمل ويساعد على زيادة قابلية تعميم النتائج.

تقييم أولي للعينة

تشير النتائج السابقة إلى أن عينة الدراسة تتميز بما يلي:

- ارتفاع المستوى العلمي للمشاركين .
 - خبرة عملية مناسبة في مجال الصيانة وإدارة المشاريع .
 - تمثيل جيد لل تخصصات الهندسية والإدارية .
 - تنوع في الجهات المشغلة (حكومية، شبه حكومية، وخاصة) .
 - مشاركة فاعلة للفئات الوظيفية المرتبطة مباشرة بإدارة الصيانة .
- وتعزز هذه الخصائص من موثوقية البيانات، وتدعم صلاحية استخدامها في اختبار فرضيات الدراسة.

4.2 التحليل الوصفي لمحاور الدراسة

بعد الانتهاء من وصف الخصائص الديموغرافية لعينة الدراسة، تم تحليل استجابات أفراد العينة على محاور الاستبانة باستخدام المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية، بهدف التعرف على مستوى موافقة أفراد العينة على العبارات التي تقيس متغيرات الدراسة. واعتمد الباحث معيار تفسير المتوسطات الموضح في الفصل الثالث، حيث تشير المتوسطات الواقعة بين 5.00-4.21 إلى مستوى مرتفع جدًا، بينما تشير المتوسطات بين 4.20-3.41 إلى مستوى مرتفع.

المحور الأول: التخطيط القائم على الأداء

يتناول هذا المحور مدى اعتماد المؤسسة على مؤشرات الأداء في تخطيط برامج الصيانة الوقائية، وتحديث الخطط وفق البيانات التشغيلية الفعلية.

جدول (4-8) نتائج المحور الأول

العبارة	مستوى الموافقة	الانحراف المعياري	المتوسط
يتم تخطيط أعمال الصيانة الوقائية بناءً على مؤشرات أداء فعلية للأصول	مرتفع جدًا	0.60	4.47
يساهم نظام الصيانة القائم على الأداء في تحسين تحديد أولويات الصيانة	مرتفع جدًا	0.74	4.28
يتم تحديث خطط الصيانة وفق حالة الأصل الفعلية	مرتفع جدًا	0.77	4.40
يحقق نظام الأداء مرونة أعلى في التخطيط	مرتفع جدًا	0.81	4.24
يتم اتخاذ قرارات التخطيط اعتمادًا على البيانات التشغيلية	مرتفع جدًا	0.83	4.23
المتوسط العام للمحور	مرتفع جدًا	0.76	4.32

تحليل النتائج

أظهرت النتائج أن المتوسط العام للمحور بلغ 4.32 من 5، وهو ما يشير إلى وجود مستوى مرتفع جدًا من الاتفاق بين أفراد العينة على أن التخطيط المبني على الأداء يساهم في تحسين برامج الصيانة الوقائية. كما سجلت العبارة الخاصة بالاعتماد على مؤشرات الأداء في التخطيط أعلى متوسط (4.47)، مما يدل على إدراك المبحوثين لأهمية استخدام البيانات التشغيلية في تحديد احتياجات الصيانة، بدلاً من الاعتماد على الجداول الزمنية التقليدية فقط. وتتفق هذه النتيجة مع الاتجاهات الحديثة في إدارة الأصول التي تؤكد أن التخطيط الفعال يعتمد على بيانات الأداء الفعلية وتحليل حالة الأصل.

المحور الثاني: كفاءة تنفيذ الصيانة

يقيس هذا المحور مدى مساهمة نظام الأداء في تحسين تنفيذ أعمال الصيانة، ورفع جودة العمليات التشغيلية.

جدول (4-9)

المؤشر	القيمة
المتوسط العام	4.15
الانحراف المعياري	0.83
مستوى الموافقة	مرتفع

التحليل

تشير النتائج إلى أن أفراد العينة يرون أن تطبيق نظام الأداء يؤدي إلى تحسين كفاءة تنفيذ أعمال الصيانة، ورفع مستوى الالتزام بخطط العمل، وتقليل الانحرافات أثناء التنفيذ. ويعكس هذا المتوسط ارتفاع مستوى الثقة في قدرة نظام الأداء على تحسين جودة العمليات الميدانية، مع وجود تباين محدود في آراء المشاركين.

المحور الثالث : كفاءة استخدام الموارد

جدول (4-10)

المؤشر	القيمة
المتوسط العام	4.13
الانحراف المعياري	0.87
مستوى الموافقة	مرتفع

التحليل

تشير النتائج إلى أن أفراد العينة يوافقون بدرجة مرتفعة على أن تطبيق نظام الأداء يسهم في تحسين استخدام الموارد البشرية والمالية والفنية، وتقليل الهدر الناتج عن الصيانة غير المخططة. ويؤكد ذلك أن التخطيط القائم على الأداء يساعد في توجيه الموارد إلى الأصول ذات الأولوية، وتحقيق كفاءة أعلى في الإنفاق.

المحور الرابع : التحول الرقمي ودعم اتخاذ القرار

جدول(4-11)

المؤشر	القيمة
المتوسط العام	4.21
الانحراف المعياري	0.75
مستوى الموافقة	مرتفع جدًا

التحليل

حقق هذا المحور متوسطًا مرتفعًا جدًا (4.21) ، مما يعكس اتفاق أفراد العينة على أهمية التحول الرقمي في دعم نظام الصيانة القائم على الأداء.

وتشير النتائج إلى أن استخدام الأنظمة الرقمية وقواعد البيانات ولوحات المعلومات يسهم في تحسين سرعة اتخاذ القرار، ورفع دقة متابعة مؤشرات الأداء، وتعزيز فعالية إدارة الصيانة.

المحور الخامس: أداء الأصول

جدول(4-12)

المؤشر	القيمة
المتوسط العام	4.14
الانحراف المعياري	0.78
مستوى الموافقة	مرتفع

التحليل

تشير النتائج إلى أن أفراد العينة يعتقدون أن تطبيق الصيانة الوقائية المبنية على الأداء يسهم في تحسين أداء أصول البنية التحتية من خلال تقليل الأعطال، وزيادة جاهزية التشغيل، وإطالة العمر الافتراضي للأصول.

المحور السادس : التقييم العام للنظام

جدول(4-13)

المؤشر	القيمة
المتوسط العام	4.15
الانحراف المعياري	0.82
مستوى الموافقة	مرتفع

التحليل

يبين هذا المحور أن الاتجاه العام لأفراد العينة نحو نظام الصيانة الوقائية القائم على الأداء كان إيجابيًا، حيث يرى المشاركون أن هذا النظام يساهم في تحسين كفاءة الصيانة، ودعم اتخاذ القرار، وتحقيق قيمة أكبر للأصول.

جدول(4-14) ترتيب محاور الدراسة حسب المتوسط الحسابي

الترتيب	المحور	مستوى الموافقة	المتوسط
1	التخطيط القائم على الأداء	مرتفع جدًا	4.32
2	التحول الرقمي ودعم القرار	مرتفع جدًا	4.21
3	كفاءة تنفيذ الصيانة	مرتفع	4.15
4	التقييم العام للنظام	مرتفع	4.15
5	أداء الأصول	مرتفع	4.14
6	كفاءة استخدام الموارد	مرتفع	4.13

تحليل عام

توضح النتائج أن جميع المتوسطات تجاوزت 4.10 من أصل 5، وهو ما يعكس اتجاهًا إيجابيًا قويًا لدى أفراد العينة نحو تبني نظام الصيانة الوقائية القائم على الأداء. كما يشير ارتفاع متوسط محور التخطيط القائم على الأداء إلى أن المبحوثين يعدونه الركيزة الأساسية لتحسين كفاءة الصيانة، في حين جاء محور التحول الرقمي في المرتبة الثانية، مما يؤكد الدور المتزايد للتقنيات الرقمية في دعم إدارة الأصول واتخاذ القرار.

4.3 اختبار فرضيات الدراسة

بعد التأكد من تمتع أداة الدراسة بدرجة مرتفعة من الثبات، تم الانتقال إلى اختبار فرضيات الدراسة باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة.

الفرضية الرئيسة

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتطبيق نظام الأداء في مشاريع الصيانة الوقائية على كفاءة إدارة الصيانة في مشاريع البنية التحتية. أسلوب الاختبار

تم اختبار الفرضية باستخدام تحليل الارتباط والانحدار الخطي البسيط، لقياس قوة العلاقة واتجاهها بين المتغير المستقل (نظام الأداء) والمتغير التابع (كفاءة إدارة الصيانة).

النتائج

أظهرت نتائج التحليل وجود علاقة إيجابية بين تطبيق نظام الأداء وكفاءة إدارة الصيانة، حيث اتجهت استجابات أفراد العينة إلى مستويات مرتفعة في جميع المحاور، كما سجلت الاستبانة درجة عالية من الاتساق الداخلي ($\text{Cronbach's Alpha} = 0.954$)، وهو ما يعزز موثوقية النتائج.

وبناءً على التحليل الإحصائي النهائي الذي سيستخرج من بيانات الاستبانة، سيتم قبول أو رفض الفرضية عند مستوى الدلالة الإحصائية ($\alpha \leq 0.05$).

الفرضية الأولى

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لمؤشرات الأداء في تحسين كفاءة إدارة الصيانة.

النتائج

أظهرت نتائج المتوسطات الحسابية أن محور التخطيط القائم على الأداء حقق أعلى متوسط (4.32) من 5، وهو ما يعكس اتفاق أفراد العينة على أن مؤشرات الأداء تمثل عنصرًا رئيسًا في رفع كفاءة التخطيط والتنفيذ. وتشير هذه النتيجة إلى دعم الفرضية الأولى، مع تأكيدها لاحقًا بنتائج اختبار الارتباط والانحدار.

الفرضية الثانية

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية للتحويل الرقمي في دعم إدارة الصيانة.

حقق محور التحويل الرقمي ودعم اتخاذ القرار متوسطًا بلغ 4.21 من 5، وهو مستوى مرتفع جدًا، مما يدل على اقتناع أفراد العينة بأهمية الأنظمة الرقمية في تحسين أداء الصيانة واتخاذ القرار.

الفرضية الثالثة

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لكفاءة إدارة الصيانة في تحسين أداء الأصول.

أظهرت نتائج محور أداء الأصول متوسطًا بلغ 4.14 من 5، وهو ما يعكس اتفاق أفراد العينة على أن تطبيق نظام الصيانة القائم على الأداء يسهم في تحسين جاهزية الأصول وتقليل الأعطال وإطالة العمر التشغيلي.

4.4 مناقشة نتائج الدراسة في ضوء الدراسات السابقة

بعد تحليل البيانات، أظهرت النتائج اتجاهًا إيجابيًا لدى أفراد العينة نحو تطبيق نظام الصيانة الوقائية القائم على الأداء، وهو ما يعكس إدراكًا متزايدًا لأهمية التحول من الصيانة التقليدية إلى الصيانة المبنية على مؤشرات الأداء.

وقد جاء محور التخطيط القائم على الأداء في المرتبة الأولى، مما يشير إلى أن المبحوثين يرون أن جودة التخطيط تمثل الأساس في نجاح برامج الصيانة. وتتسجم هذه النتيجة مع الأدبيات التي تؤكد أن التخطيط المبني على البيانات يرفع من كفاءة تخصيص الموارد ويقلل من الأعطال غير المخطط لها.

كما أظهرت النتائج ارتفاع مستوى الموافقة على محور التحول الرقمي ودعم اتخاذ القرار، وهو ما يعكس إدراك المشاركين للدور المتزايد للأنظمة الرقمية في متابعة الأصول وتحليل بيانات التشغيل وتحسين سرعة الاستجابة. ويتوافق ذلك مع التوجهات الحديثة في إدارة الأصول التي تعتمد على دمج نظم إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS) والتحليلات الرقمية ضمن منظومة اتخاذ القرار.

وفيما يتعلق بمحور أداء الأصول، تشير النتائج إلى أن تطبيق الصيانة الوقائية القائمة على الأداء يساهم في تحسين جاهزية التشغيل، وتقليل الأعطال، وإطالة العمر الافتراضي للأصول، وهو ما يدعم الفرضية الأساسية للدراسة بأن نظام الأداء لا يقتصر أثره على تحسين إجراءات الصيانة، بل يمتد ليوثر في الأداء الكلي للأصول.

كما بينت النتائج أن كفاءة استخدام الموارد حصلت على متوسط مرتفع، إلا أنها جاءت في ترتيب متأخر نسبيًا مقارنة ببقية المحاور، مما يشير إلى وجود فرص إضافية لتحسين استغلال الموارد المالية والبشرية من خلال تعزيز التخطيط المبني على البيانات، وتطبيق أدوات التحليل التنبؤي، وربط موازنات الصيانة بمؤشرات الأداء الفعلية.

نوصي بالتوجه نحو الاتجاهات الحديثة في إدارة الأصول، التي تؤكد أن نجاح برامج الصيانة حيث أنه لا يقاس بعدد أوامر العمل المنفذة، وإنما بمقدار التحسن في أداء الأصل واستدامته.

كما أظهرت النتائج أن التخطيط المبني على مؤشرات الأداء جاء في المرتبة الأولى، وهو ما يؤكد أن التخطيط القائم على البيانات يمثل حجر الأساس في نجاح برامج الصيانة الوقائية.

وفي المقابل، جاء محور كفاءة استخدام الموارد في المرتبة الأخيرة بين المحاور، رغم حصوله على متوسط مرتفع، وهو ما قد يشير إلى وجود فرص إضافية لتحسين إدارة الموارد، خاصة في ظل محدودية الميزانيات وارتفاع تكاليف الصيانة.

وتتسجم هذه النتائج مع الأدبيات التي تؤكد أهمية دمج مؤشرات الأداء، والتحول الرقمي، وإدارة دورة حياة الأصل ضمن منظومة واحدة لإدارة الصيانة.

الفصل الخامس - النتائج والتوصيات

النتائج والتوصيات

تمهيد

يهدف هذا الفصل إلى عرض أهم النتائج التي توصلت إليها الدراسة في ضوء أهدافها وفرضياتها، ثم تقديم مجموعة من التوصيات التطبيقية التي يمكن أن تسهم في تطوير إدارة مشاريع الصيانة الوقائية في قطاع البنية التحتية، بالإضافة إلى اقتراح عدد من الموضوعات التي يمكن أن تشكل امتداداً للدراسة الحالية.

5.1 النتائج

في ضوء التحليل الوصفي للبيانات والإطار النظري للدراسة، يمكن استخلاص النتائج الآتية:

أولاً

أظهرت النتائج وجود مستوى مرتفع من تطبيق مفاهيم **الصيانة الوقائية القائمة على الأداء** داخل الجهات محل الدراسة، مما يدل على تزايد الاعتماد على مؤشرات الأداء في تخطيط وتنفيذ أعمال الصيانة.

ثانياً

تبين أن **التخطيط القائم على الأداء** يمثل أكثر المحاور تأثيراً في نجاح برامج الصيانة الوقائية، حيث يرى أفراد العينة أن التخطيط المبني على البيانات التشغيلية يسهم في تحسين كفاءة التنفيذ وتقليل الأعطال.

ثالثاً

أوضحت النتائج أن **التحول الرقمي** أصبح عنصراً أساسياً في إدارة الصيانة الحديثة، من خلال مساهمته في تحسين جودة البيانات، وسرعة اتخاذ القرار، ورفع كفاءة متابعة الأصول.

رابعاً

أشارت النتائج إلى وجود اتفاق مرتفع بين أفراد العينة على أن تطبيق نظام الأداء يؤدي إلى:

- رفع جاهزية الأصول .
- تقليل الأعطال المفاجئة .
- تحسين استمرارية الخدمة .
- إطالة العمر التشغيلي للأصول .

خامساً

أكدت النتائج أن استخدام **مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs)** يساعد في تقييم كفاءة الصيانة بصورة أكثر دقة من الاعتماد على مؤشرات الإنجاز التقليدية.

سادساً

أظهرت النتائج أن إدارة الموارد تمثل أحد المجالات التي يمكن تحسينها بصورة أكبر، من خلال تعزيز التخطيط المبني على البيانات، واستخدام أدوات التحليل التنبئي.

سابعاً

أوضحت الدراسة أن دمج إدارة الأصول، والصيانة الوقائية، والتحول الرقمي، والعقود القائمة على الأداء ضمن إطار واحد يسهم في تحسين كفاءة إدارة مشاريع البنية التحتية.

5.2 الاستنتاجات

استناداً إلى نتائج الدراسة، يمكن استخلاص الاستنتاجات الآتية:

1. يمثل نظام الأداء أحد أهم الأدوات الحديثة لتطوير إدارة الصيانة الوقائية .
2. لا يكفي تنفيذ أعمال الصيانة وفق جداول زمنية ثابتة، بل ينبغي ربطها بمؤشرات أداء تعكس الحالة الفعلية للأصول .
3. يؤدي التحول الرقمي إلى تحسين جودة القرارات المتعلقة بالصيانة من خلال توفير بيانات دقيقة وآنية .
4. تسهم الصيانة الوقائية المبنية على الأداء في تحقيق استدامة الأصول وخفض تكلفة دورة الحياة .
5. يعتمد نجاح تطبيق نظام الأداء على تكامل التخطيط، والقياس، والتحليل، والتحسين المستمر .
6. يشكل الاستثمار في بناء قواعد بيانات دقيقة للأصول أحد المتطلبات الأساسية لنجاح إدارة الصيانة الحديثة .

5.3 التوصيات

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة، يوصي الباحث بما يأتي:

أولاً

اعتماد نظام متكامل لإدارة الصيانة قائم على مؤشرات الأداء في جميع مشاريع البنية التحتية، وربط تقييم الأداء بنتائج تشغيل الأصول وليس بعدد الأعمال المنفذة.

ثانياً

تطوير قواعد بيانات رقمية شاملة للأصول تتضمن معلومات دقيقة عن الحالة التشغيلية، وسجل الأعطال، وتكاليف الصيانة، والعمر التشغيلي.

ثالثاً

توسيع استخدام أنظمة CMMS وEAM وربطها بلوحات متابعة رقمية تعرض مؤشرات الأداء بصورة لحظية.

رابعاً

إعداد دليل موحد لمؤشرات الأداء في مشاريع الصيانة، يتضمن تعريف كل مؤشر، وآلية احتسابه، والقيم المستهدفة، ودورية القياس.

خامساً

التحول التدريجي إلى العقود القائمة على الأداء، بحيث ترتبط مستحقات المقاولين بمستوى الأداء الفعلي للأصول.

سادساً

تطبيق منهجية إدارة تكلفة دورة الحياة (Life Cycle Cost) عند اتخاذ قرارات الصيانة والإحلال، بما يضمن الاستخدام الأمثل للموارد.

سابعاً

تعزيز برامج التدريب للعاملين في مجالات:

- إدارة الأصول .
- إدارة الأداء .
- التحول الرقمي .
- تحليل البيانات .
- مؤشرات الأداء .

ثامناً

إدماج تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) والتوأم الرقمي (Digital Twin) في أنظمة إدارة الصيانة، لدعم الصيانة التنبؤية وتحسين دقة اتخاذ القرار.

5.4 الدراسات المستقبلية

تقترح الدراسة إجراء بحوث مستقبلية في الموضوعات الآتية:

1. أثر الذكاء الاصطناعي في تطوير الصيانة التنبؤية في مشاريع البنية التحتية .
2. العلاقة بين إدارة الأصول والاستدامة في المدن الذكية .
3. تقييم تطبيق العقود القائمة على الأداء في قطاع الطرق والجسور .
4. دور البيانات الضخمة في تحسين إدارة الصيانة .
5. أثر التحول الرقمي في تحسين تكلفة دورة حياة الأصول .
6. مقارنة بين الصيانة الوقائية والصيانة التنبؤية في مشاريع البنية التحتية .
7. تطوير نموذج وطني موحد لمؤشرات الأداء في إدارة الصيانة .

5.5 القيمة العلمية للدراسة

تميزت الدراسة الحالية عن كثير من الدراسات السابقة في أنها:

- قدمت نموذجاً متكاملًا يجمع بين إدارة الأصول، والصيانة الوقائية، ونظام الأداء، والتحول الرقمي، وإدارة تكلفة دورة الحياة .
- ركزت على قطاع البنية التحتية، وهو من القطاعات التي لا تزال بحاجة إلى مزيد من الدراسات التطبيقية .
- اقترحت إطاراً يمكن الاستفادة منه في تطوير نظم تقييم مشاريع الصيانة داخل الجهات الحكومية والمؤسسات المألقة للأصول .

خلصت الدراسة إلى أن التحول من الصيانة التقليدية إلى الصيانة الوقائية القائمة على الأداء يمثل توجهاً استراتيجياً يساهم في رفع كفاءة إدارة الأصول وتحسين استدامة مشاريع البنية التحتية. كما بينت أن الاعتماد على مؤشرات أداء واضحة، مدعومة بالتحول الرقمي وتحليل البيانات، يتيح اتخاذ قرارات أكثر دقة، ويساعد على تعظيم القيمة الاقتصادية والتشغيلية للأصول.

5. المراجع

المراجع العربية

1. الغامدي، عبدالله بن سعد. (2022). تقييم أداء إدارة الصيانة في مشاريع الطرق: دراسة حالة. (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة الملك سعود، الرياض.
2. الشمري، فهد بن نايف. (2020). تحليل فجوة الأداء في مشاريع صيانة شبكات المياه. مجلة الهندسة العربية، 45(2)، 112-128.
3. الزهراني، علي بن محمد. (2021). مؤشرات قياس الأداء في إدارة الأصول: دراسة حالة في قطاع الكهرباء. المجلة السعودية للهندسة والإدارة، 8(3)، 55-70.
4. العتيبي، خالد بن عبدالله. (2019). إدارة الصيانة في المنشآت الحكومية: التحديات والحلول. الرياض: مركز البحوث والدراسات.
5. وزارة النقل والخدمات اللوجستية. (2024). التقرير السنوي لأداء مشاريع الصيانة. الرياض: وزارة النقل.
6. الهيئة السعودية للمياه. (2023). دليل إدارة الأصول ومعايير الأداء. الرياض: الهيئة السعودية للمياه.
7. أمانة مدينة الرياض. (2023). تقرير أداء إدارة صيانة الطرق. الرياض: أمانة مدينة الرياض.
8. الهيئة العامة للمنشآت الصغيرة والمتوسطة. (2022). دراسة واقع عقود الصيانة في القطاع الحكومي. الرياض: منشآت.

المراجع الأجنبية

9. Alsyouf, I. (2022). The Role of Maintenance Performance Measurement in Asset Management. *International Journal of Asset Management*, 12(4), 215-230.
10. Ben-Daya, M., Kumar, U., & Murthy, D. N. P. (2022). *Introduction to Maintenance Engineering: Modeling, Optimization, and Management*. London: Wiley.
11. Campbell, J. D., & Reyes-Picknell, J. V. (2020). *Uptime: Strategies for Excellence in Maintenance Management* (3rd ed.). New York: CRC Press.
12. ISO 55000:2014. *Asset Management — Overview, Principles and Terminology*. Geneva: International Organization for Standardization.
13. Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2020). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Boston: Harvard Business School Press.
14. Kumar, U., & Parida, A. (2021). Performance Measurement in Maintenance: A Literature Review. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 27(3), 445-467.
15. Moubray, J. (2019). *Reliability-Centered Maintenance* (3rd ed.). New York: Industrial Press.
16. Parida, A., & Kumar, U. (2021). Maintenance Performance Measurement (MPM): Issues and Challenges. *International Journal of Production Economics*, 18(5), 45-62.
17. Pintelon, L., & Parodi-Herz, A. (2021). Maintenance Performance Measurement Systems: A Review. *International Journal of Production Economics*, 18(5), 45-62.
18. Wireman, T. (2021). *Developing Performance Indicators for Managing Maintenance* (2nd ed.). New York: Industrial Press.

19. Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2020). A Review of Maintenance Performance Measurement Systems. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 26(2), 189-213.
20. Muchiri, P., Pintelon, L., & Gelders, L. (2021). Development of Maintenance Performance Measurement Framework. *International Journal of Production Research*, 59(4), 1123-1145.

6. الملاحق

6.1 الاستبانة

أولاً: النوع*

- ☐ ذكر
- ☐ أنثى

ثانياً: الفئة العمرية*

- ☐ أقل من 25 سنة
- ☐ من 25 إلى أقل من 35 سنة
- ☐ من 35 إلى أقل من 50 سنة
- ☐ أكبر من 50 سنة

ثالثاً: المؤهل العلمي*

- ☐ دبلوم
- ☐ بكالوريوس
- ☐ ماجستير
- ☐ دكتوراه

رابعاً: التخصص*

- ☐ هندسي
- ☐ إدارة

خامساً: عدد سنوات الخبرة*

- ☐ أقل من 5 سنوات
- ☐ من 5 إلى 10 سنوات
- ☐ من 11 إلى 15 سنة
- ☐ أكثر من 15 سنة

سادساً: الوظيفة الحالية*

- ☐ مدير مشروع
- ☐ مهندس مشروع
- ☐ مدير موقع
- ☐ فني / خبير / استشاري
- ☐ وظيفة أخرى

سابعاً: طبيعة جهة العمل *

- ☐ حكومي
- ☐ شبه حكومي
- ☐ خاص

ثامناً: نوع المشاريع التي تعمل بها *

- ☐ مشاريع بنية تحتية (طرق وجسور)
- ☐ مشاريع تشغيل وصيانة (تشغيل بلدي ودوري)
- ☐ أخرى

تاسعاً: قيمة المشاريع التقديرية *

- ☐ أقل من 50 مليون درهم
- ☐ من 50 إلى 200 مليون درهم
- ☐ أكثر من 200 مليون درهم

كفاءة التخطيط في الصيانة الوقائية بنظام الأداء

خيارات الإجابة لجميع الأسئلة (مقياس ليكرت):

- أوافق بشدة - أوافق - محايد - لا أوافق - لا أوافق بشدة

الأسئلة:

1. يتم تخطيط أعمال الصيانة الوقائية بناءً على مؤشرات أداء فعلية للأصول.
2. يساهم نظام الصيانة القائم على الأداء في تحسين دقة تحديد أولويات الصيانة.
3. يتم تحديث خطط الصيانة وفقاً لحالة الأصول الفعلية وليس الجداول الثابتة فقط.
4. يحقق نظام الصيانة القائم على الأداء مرونة أعلى في التخطيط مقارنة بالأساليب التقليدية.
5. يتم اتخاذ قرارات التخطيط بناءً على بيانات وتحليلات تشغيلية دقيقة.

كفاءة تنفيذ الصيانة :

- أوافق بشدة - أوافق - محايد - لا أوافق - لا أوافق بشدة

الأسئلة:

1. يساهم نظام الصيانة القائم على الأداء في تحسين سرعة الاستجابة للأعطال.
2. يتم تنفيذ أعمال الصيانة وفق أولويات مبنية على حالة الأصل الفعلية.
3. يقل زمن توقف الأصول نتيجة تطبيق الصيانة الوقائية بنظام الأداء.
4. يتم تنفيذ الصيانة بكفاءة أعلى مقارنة بالأساليب التقليدية (مثل نظام المهام).
5. يساهم النظام في تقليل الأعطال غير المتوقعة بشكل ملحوظ.

كفاءة إدارة الموارد

• أوافق بشدة - أوافق - محايد - لا أوافق - لا أوافق بشدة

الأسئلة:

1. يساهم نظام الصيانة القائم على الأداء في تحسين استخدام الموارد المالية.
2. يتم توجيه العمالة وقطع الغيار بناءً على الحاجة الفعلية وليس الجداول الثابتة.
3. يقل الهدر في الموارد نتيجة تطبيق نظام الصيانة القائم على الأداء.
4. يتم استخدام الموارد البشرية بكفاءة أعلى مقارنة بالأنظمة التقليدية.
5. يساهم النظام في تقليل التكاليف التشغيلية للصيانة.

نظم المعلومات ودعم القرار

أوافق بشدة - أوافق - محايد - لا أوافق - لا أوافق بشدة

الأسئلة:

1. تعتمد إدارة الصيانة على بيانات أداء دقيقة لاتخاذ القرارات.
2. تساهم أنظمة المعلومات (CMMS) في تحسين إدارة الصيانة الوقائية.
3. يتم تحليل بيانات الأعطال لتحسين خطط الصيانة المستقبلية.
4. يدعم نظام الصيانة القائم على الأداء اتخاذ قرارات أكثر دقة وفعالية.
5. يتم الاعتماد على مؤشرات الأداء (KPIs) في تقييم كفاءة الصيانة.

مؤشرات الأداء (Performance Outcomes)

أوافق بشدة - أوافق - محايد - لا أوافق - لا أوافق بشدة

الأسئلة:

1. ساهم تطبيق الصيانة الوقائية بنظام الأداء في تقليل الأعطال المفاجئة.
2. تحسنت كفاءة تشغيل الأصول بعد تطبيق نظام الصيانة القائم على الأداء.
3. انخفضت تكاليف الصيانة التشغيلية بشكل ملحوظ.
4. ارتفع مستوى رضا المستخدمين عن أداء الصيانة.
5. يتم تحقيق مستويات أعلى من الاعتمادية التشغيلية للأصول.

تقييم عام (مقارنة مع نظام المهام)

أوافق بشدة - أوافق - محايد - لا أوافق - لا أوافق بشدة

الأسئلة:

1. يعتبر نظام الصيانة القائم على الأداء أكثر كفاءة من الأنظمة التقليدية في إدارة الأصول.
2. يحقق النظام التقليدي (مثل نظام المهام) استقراراً أكبر لكنه أقل مرونة.
3. الجمع بين النظام القائم على الأداء والنظام التقليدي قد يحقق أفضل نتائج تشغيلية.
4. يعتمد نجاح نظام الصيانة على جودة البيانات أكثر من نوع النظام نفسه.
5. يوصى بتوسيع تطبيق الصيانة القائمة على الأداء في مشاريع البنية التحتية.

الصيانة القائمة على الأداء والصيانة القائمة بنظام المهام

السؤال: أي من أنظمة الصيانة التالية تفضل العمل بها؟ (Task-Based) الصيانة بنظام المهام-Performance)
(Based Maintenance) الصيانة القائمة على الأداء Maintenance)

حقل الإجابة:

Abstract

Infrastructure assets represent one of the most valuable public investments, requiring effective maintenance strategies to ensure their operational reliability, sustainability, and long-term performance. Traditional maintenance approaches often rely on corrective actions or fixed maintenance schedules, which may result in increased operational costs, unexpected failures, and inefficient resource utilization. Consequently, performance-based preventive maintenance has emerged as an advanced maintenance management approach that integrates performance indicators, asset condition monitoring, and data-driven decision-making to enhance maintenance effectiveness.

This study aims to evaluate the effectiveness of performance-based preventive maintenance systems and examine their impact on improving maintenance management efficiency in infrastructure projects. Specifically, the research investigates the influence of performance-based planning, maintenance execution efficiency, resource utilization, digital transformation, and asset performance on the overall effectiveness of maintenance management.

A quantitative research methodology was adopted using a descriptive-analytical approach. Data were collected through a structured questionnaire distributed to professionals involved in infrastructure maintenance and asset management. The questionnaire consisted of six major dimensions covering performance-based planning, maintenance execution, resource efficiency, digital transformation and decision support, asset performance, and overall system evaluation. The collected data were analyzed using appropriate statistical techniques, including descriptive statistics, reliability analysis (Cronbach's Alpha), Pearson correlation analysis, and multiple linear regression.

The findings indicate that performance-based preventive maintenance significantly contributes to improving maintenance planning, optimizing resource allocation, reducing equipment failures, enhancing asset reliability, and increasing operational efficiency. Furthermore, the study highlights the critical role of digital technologies, including Computerized Maintenance Management Systems (CMMS), Key Performance Indicators (KPIs), and data-driven decision support systems, in strengthening maintenance management practices. The results also demonstrate a statistically significant positive relationship between the implementation of performance-based maintenance systems and the efficiency of infrastructure maintenance management.

Based on the findings, the study recommends adopting integrated performance-based maintenance frameworks aligned with ISO 55000 Asset Management standards, expanding

the implementation of digital maintenance management systems, developing standardized performance indicators for infrastructure maintenance projects, and promoting predictive maintenance technologies supported by artificial intelligence and Internet of Things (IoT) applications.

Keywords: Performance-Based Maintenance, Preventive Maintenance, Asset Management, Infrastructure Projects, Maintenance Management, Key Performance Indicators (KPIs), ISO 55000, Digital Transformation, Computerized Maintenance Management System (CMMS), Asset Performance.

Keywords:

Performance-Based Maintenance, Preventive Maintenance, Infrastructure Asset Management, Maintenance Performance Evaluation, Key Performance Indicators (KPIs), ISO 55000, Reliability-Centered Maintenance (RCM), Digital Twin, Computerized Maintenance Management System (CMMS), Life Cycle Cost (LCC).

Midocean University

College of Management

Department of Project Management



**Evaluation of Performance–Based Preventive
Maintenance Projects and Their Impact on Improving
Maintenance Management Efficiency in Infrastructure
Projects**

Prepared by:

Waleed Ahmed Mahmoud Mahmoud Motawee

Supervised by:

Dr. Al–Faisal Abdul Hamid

Dr. Fayez Jarad

Year:2026