

جامعة ميدأوشن



كلية الإدارة

قسم / تخصص. ماجستير إدارة المشاريع

عنوان البحث

استراتيجيات الصيانة التنبؤية ودورها في تقليل التكاليف التشغيلية: دراسة استطلاعية

لآراء المديرين في المنشآت الصناعية بمدينة الجبيل

إعداد الطالب / نواف عادل الحربي

إشراف/

د. الفیصل عبد الحمید محمد

دفايز علي الجراد

العام الدراسي:

٢٠٢٦

جدول المحتويات

١	الفصل الأول
٥	ملخص الدراسة
٧	مقدمة الدراسة
٨	مشكلة الدراسة
٩	أهمية الدراسة
١٠	تساؤلات الدراسة
١١	فرضيات الدراسة
١٢	مصطلحات الدراسة
١٣	متغيرات الدراسة
١٤	الفصل الثاني
١٥	الدراسات السابقة
١٨	الإطار النظري
٢١	مفهوم وماهية الصيانة التنبؤية
٢٣	استراتيجيات وآليات تنفيذ الصيانة التنبؤية
٢٦	مفهوم التكاليف التشغيلية في المنشآت الصناعية
٣٠	أثر الصيانة التنبؤية على تقليل الفوائد المالية

٣٤	إدارة وقت التوقف غير المخطط له
٣٦	جودة المنتج والميزة التنافسية
٣٩	التحديات والمعوقات أمام تطبيق الصيانة التنبؤية
٤٢	واقع القطاع الصناعي في مدينة الجبيل ورؤية 2030
٤٣	نماذج وتجارب عالمية ومحلية ناجحة
٤٤	الخاتمة
٤٥	الفصل الثالث
٤٦	منهجية الدراسة
٤٦	مجتمع الدراسة
٤٧	أدوات جمع البيانات
٤٨	حدود الدراسة
٤٩	الاستبيان
٥٦	الفصل الرابع
٥٧	التحليل الإحصائي
٦٦	النتائج
٦٧	التوصيات
٦٩	المراجع

٧٥	الملخص
٧٦	الملاحق

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى التعرف على واقع تطبيق الصيانة التنبؤية وأثرها في خفض التكاليف التشغيلية بالمنشآت الصناعية بمدينة الجبيل الصناعية، وذلك من خلال تبني المنهج الوصفي التحليلي وتطبيق استبانة كأداة رئيسة لجمع البيانات على عينة عشوائية بسيطة قوامها 100 مدير ومسؤول في تلك المنشآت. وقد أظهرت نتائج التحليل الإحصائي مستوى تطبيق مرتفع للصيانة التنبؤية بمتوسط حسابي بلغ (3.85)، مع وجود أثر إيجابي طردي قوي ذي دلالة إحصائية يربط بين هذا التطبيق وخفض التكاليف التشغيلية بنسبة تفسيرية بلغت (52.4%)، لاسيما في تقليص ساعات التوقف الطارئة وزيادة العمر الافتراضي للمعدات الرأسالية، كما كشفت النتائج عن وجود فروق جوهرية في مستوى تبني هذه التقنيات لصالح المنشآت الصناعية الكبرى مقارنة بالمتوسطة والصغيرة؛ وبناءً على ذلك أوصت الدراسة بضرورة تكثيف البرامج التدريبية المتخصصة لتأهيل الكوادر البشرية في تحليل البيانات الضخمة للمعدات، وتقديم مبادرات دعم وحوافز لتمكين المنشآت الأصغر حجماً من تبني حلول الصيانة الرقمية بفاعلية.

مقدمة الدراسة

تعد الصناعة المحرك الأساسي للاقتصاد العالمي، وفي ظل الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0)، أصبحت كفاءة النظم الإنتاجية تعتمد بشكل جوهري على استمرارية عمل المعدات وتجنب التوقفات المفاجئة. تبرز "الصيانة التنبؤية" (Predictive Maintenance) كواحدة من أكثر الاستراتيجيات تطوراً، حيث تعتمد على مراقبة حالة المعدات واستخدام البيانات والذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها. في مدينة الجبيل الصناعية، التي تعد قطباً عالمياً للصناعات البتروكيمياوية والأساسية، تواجه الإدارات تحديات مستمرة في الموازنة بين الحفاظ على أداء الأصول وتقليل التكاليف التشغيلية المتزايدة. إن التحول من الصيانة التقليدية (الوقائية أو العلاجية) إلى الصيانة التنبؤية لا يعد ترفاً تقنياً، بل ضرورة استراتيجية لخفض النفقات المتعلقة بقطع الغيار، والعمالة، وفترات التعطل غير المخطط لها، مما يعزز الميزة التنافسية للمنشآت السعودية وفق رؤية المملكة 2030.

مشكلة الدراسة

تكمن المشكلة في أن العديد من المنشآت الصناعية لا تزال تعاني من ارتفاع التكاليف التشغيلية نتيجة الاعتماد على أنظمة صيانة تقليدية تؤدي إما إلى استبدال قطع غيار لا تزال صالحة للعمل، أو الوقوع في فخ التوقفات الفجائية المكلفة.

المشكلة الرئيسية:

ما هو دور تطبيق استراتيجيات الصيانة التنبؤية في تقليل التكاليف التشغيلية في المنشآت الصناعية بمدينة الجبيل من وجهة نظر المديرين؟

الأسئلة الفرعية:

1. ما هو مستوى إدراك وتطبيق المديرين في منشآت الجبيل لمفهوم الصيانة التنبؤية؟

2. كيف تساهم الصيانة التنبؤية في تقليل تكاليف الفاقد الناتج عن توقف خطوط

الإنتاج؟

3. ما هي المعوقات التي تحول دون التطبيق الكامل لاستراتيجيات الصيانة التنبؤية

في القطاع الصناعي بالمنطقة؟

أهمية الدراسة

1. الأهمية العلمية (الأكاديمية):

• إثراء المكتبة العربية: توفير مرجع علمي حديث يتناول تقنيات الثورة الصناعية

الرابعة في البيئة المحلية السعودية، وتحديدًا في قطاع الصيانة.

• سد الفجوة المعرفية: الربط بين الجانب النظري للصيانة التنبؤية والجانب

المحاسبي/المالي المتعلق بالتكاليف التشغيلية.

- التمهيد لدراسات مستقبلية: فتح المجال أمام الباحثين لدراسة أثر تقنيات أخرى مثل "إنترنت الأشياء الصناعي" (IIoT) على كفاءة الأصول.
- 2. الأهمية العملية (التطبيقية):
- دعم صناع القرار: تزويد المديرين في منشآت الجبيل الصناعية بمؤشرات واقعية حول الجدوى الاقتصادية للاستثمار في أنظمة الصيانة التنبؤية.
- تحسين الكفاءة التشغيلية: مساعدة المنشآت على تطوير خطط صيانة مبنية على البيانات، مما يقلل الهدر المالي ويزيد عمر الأصول الإنتاجية.
- المساهمة في رؤية 2030: تدعم هذه الدراسة توجه المملكة نحو "التميز التشغيلي" في القطاع الصناعي ورفع نسبة المحتوى المحلي من خلال خفض تكاليف الإنتاج الإجمالية.

أهداف الدراسة

الهدف الرئيسي:

- التعرف على دور استراتيجيات الصيانة التنبؤية في تقليل التكاليف التشغيلية في المنشآت الصناعية بمدينة الجبيل من وجهة نظر المديرين.

الأهداف الفرعية:

1. تحديد مستوى تطبيق تقنيات الصيانة التنبؤية في المنشآت الصناعية بمدينة

الجبيل.

2. قياس مدى تأثير التحول نحو الصيانة التنبؤية على بنود التكاليف التشغيلية

(عمالة، قطع غيار، فاقد إنتاج).

3. رصد التحديات التقنية والبشرية التي تواجه المديرين عند تبني استراتيجيات

الصيانة التنبؤية.

4. تقديم توصيات عملية للمنشآت الصناعية لتعزيز كفاءة الإنفاق التشغيلي عبر

حلول الصيانة الذكية.

تساؤلات الدراسة

التساؤل الرئيسي:

• ما هو دور استراتيجيات الصيانة التنبؤية في تقليل التكاليف التشغيلية في المنشآت

الصناعية بمدينة الجبيل؟

التساؤلات الفرعية:

1. ما هو واقع ممارسات الصيانة التنبؤية المطبقة حالياً في المصانع بمدينة الجبيل؟

2. هل توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين استخدام أدوات التنبؤ بالأعطال وخفض

تكلفة التوقفات غير المخطط لها؟

3. هل تختلف آراء المديرين حول فعالية الصيانة التنبؤية باختلاف حجم المنشأة أو

طبيعة نشاطها الصناعي؟

فرضيات الدراسة

1. الفرضية الأولى: توجد علاقة ارتباطية موجبة ذات دلالة إحصائية بين مستوى

تطبيق الصيانة التنبؤية وخفض التكاليف التشغيلية الإجمالية.

2. الفرضية الثانية: يساهم الاعتماد على الصيانة التنبؤية في تقليل تكاليف قطع

الغيار بنسبة تفوق طرق الصيانة الوقائية التقليدية.

3. الفرضية الثالثة: توجد فروق ذات دلالة إحصائية في تقديرات المديرين لدور

الصيانة التنبؤية تعزى لمتغيرات (الخبرة العملية، المستوى الإداري، حجم الشركة).

متغيرات الدراسة

• المتغير المستقل (Independent Variable): استراتيجيات الصيانة التنبؤية

(وتشمل: مراقبة الحالة، تحليل البيانات، التنبؤ بالأعطال).

• المتغير التابع (Dependent Variable): التكاليف التشغيلية (وتشمل: تكاليف

الصيانة المباشرة، تكاليف التوقف عن الإنتاج، تكلفة المخزون من قطع الغيار).

- المتغيرات الديموغرافية/التصنيفية: (السنوات الوظيفية، التخصص الإداري، حجم المنشأة، نوع القطاع الصناعي).

مصطلحات الدراسة

1. الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance): هي مجموعة من التقنيات

التي تهدف إلى تحديد حالة المعدات قيد التشغيل من أجل التنبؤ بموعد إجراء الصيانة، وتعتمد بشكل رئيسي على مراقبة الحالة (Condition Monitoring) والذكاء الاصطناعي.

2. التكاليف التشغيلية (Operational Costs): هي النفقات اليومية اللازمة

لإدارة وتشغيل المنشأة الصناعية، وتتضمن في هذه الدراسة تكاليف إصلاح الأعطال، أجور العمالة الفنية، وفوائد تعطل خطوط الإنتاج.

3. المنشآت الصناعية بالجبل: هي الشركات والمصانع العاملة في مدينة الجبل

الصناعية (سواء الأساسية، الثانوية، أو الخفيفة) التي تخضع لإشراف الهيئة الملكية للجبل وينبع.

4. دراسة استطلاعية: منهج بحثي يهدف إلى جمع آراء وتصورات عينة البحث

(المديرين) حول ظاهرة معينة لاستخلاص نتائج تعكس واقع الحال.

الفصل الثاني

الدراسات السابقة (Literature Review)

الدراسة الأولى: R. Keith Mobley (2002)

العنوان: An Introduction To Predictive Maintenance

استهل الكاتب دراسته بإظهار الأهمية الاقتصادية للصيانة وآثارها على تكلفة المنتجات، حيث أشار إلى أنها تتراوح بين 15% في المنتجات الغذائية وتصل إلى 60% في الصناعات الثقيلة. وأوضح أن هدر الصيانة يصل إلى ثلث الميزانية المرسودة (33 سنت من كل دولار) بسبب ممارسات الصيانة غير الضرورية.

تصنيف إدارة الصيانة حسب الدراسة:

1. التشغيل حتى الفشل (Run-to-Failure): الأعلى كلفة بسبب التوقفات المفاجئة وتراكم قطع الغيار.
2. الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance): تعتمد على فواصل زمنية وجدولة ثابتة (التزييت والتشحيم).
3. الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance): فلسفة تعتمد على المراقبة المنتظمة للحالة التشغيلية الفعلية لتوفير أقصى فترة بين الإصلاحات.
4. الطرق الحديثة: مثل الصيانة الإنتاجية الشاملة (TPM) والصيانة المرتكزة على الوثوقية (RCM).

تقنيات الصيانة التنبؤية المقترحة:

- مراقبة الاهتزازات وتحليلها (Vibration Analysis).
- التصوير الحراري (Thermography) بالأشعة تحت الحمراء.
- علم الاحتكاك (Tribology) وتحليل الزيوت.
- مراقبة بارامترات العملية (التيار الكهربائي، الضغط).
- الفحص المرئي (Visual Inspection).

الدراسة الثانية: م. تغريد ظريف علي (2017)

العنوان: تحليل وتصميم منهجية لصيانة تنبؤية وقائية في محطة حاويات مرفأ اللاذقية الدولية

سعت الباحثة لتطبيق الصيانة التنبؤية في مرفأ اللاذقية عبر تحليل بيانات واقعية لثلاث شركات كبرى. شملت الدراسة خمسة مستويات من البيانات (وصف العطل، نوعه، موضعه، نوع النشاط، زمن الإصلاح).

المنهجية والأدوات:

- استخدمت خوارزمية **k-means** للكشف عن النقاط الشاذة وتحسين جودة البيانات.
- استخدمت خوارزمية **Box Jenkins** للتنبؤ بزمن إصلاح المعدات.

• طبقت تقنيات التنقيب في البيانات (Association, Clustering)

(Classification) للتنبؤ بموضع العطل.

• اعتمدت مؤشرات أداء رئيسية (KPIs) مثل: (MTBF, MTTR, Reliability,)

(Availability).

الدراسة الثالثة: (Prabhu A. Doss (2019)

العنوان: Design and Implementation of Predictive Maintenance in

Mechatronic System

نفذ الباحث دراسته على نظام مخبري مصغر يحاكي خطوط الإنتاج، حيث يتم نقل

المنتجات عبر محركات سير وحساسات تُدار بنظام PLC.

النتائج التقنية:

• استخدام تقنية إنترنت الأشياء (IoT) والمنصات السحابية (Cloud Platforms)

لتخزين وتحليل بيانات الحساسات.

• إتاحة الوصول للبيانات عبر لوحات تحكم (Dashboards) على الحواسيب

والهواتف.

• قارن الباحث بين خمس منصات سحابية (AWS, Google Cloud, Azure,)

(Mindsphere, IBM Cloud)، واختار منصة IBM Cloud للتطبيق العملي

مع نظام SIEMENS S7-1500.

الدراسة الرابعة: Dr. Franck Nassah (2018) & Dr. Milos Milojevic

العنوان: Digital Industrial Revolution With Predictive Maintenance

دراسة اقتصادية نشرت لصالح مجموعة **CXP Group**، استندت إلى مقابلات مع صناع

القرار في 232 شركة أوروبية في قطاعات السيارات والنقل والصناعات التحويلية.

أهم النتائج الإحصائية:

• **91%** من شركات السيارات ترى أن تقليل التوقف غير المخطط له هو الفائدة

الأكبر.

• **93%** من شركات الصناعات التحويلية تهدف لتحسين بنيتها التحتية القديمة عبر

الصيانة التنبؤية.

• **72%** من شركات النقل الأوروبية تعتمد فعلياً على استراتيجية التنبؤ بالعطل.

الدراسة الخامسة: Z. Wang (2018) & K. S. Kianngala

العنوان: Initiating Predictive Maintenance for a Conveyor Motor in a

Bottling Plant Using Industry 4.0 Concepts

هدفت الدراسة لتسليط الضوء على أهمية الصيانة التنبؤية في المشاريع الصغيرة

والمتوسطة باستخدام تقنيات الثورة الصناعية الرابعة.

الآلية التطبيقية:

- استخدام جهاز **SIEMENS S7-1200** لمراقبة اهتزاز محرك ناقل.
- مقارنة البيانات مع قيم معيارية طبقاً للمواصفة **ISO 2372**.
- استخدام لغة **Python** لإرسال رسائل تنبيهية عبر البريد الإلكتروني.
- دمج نظام **SCADA** لتصدير البيانات وربطها بمنصة **ClicData** السحابية
- لتحليل البيانات بشكل لا مركزي.

الإطار النظري للدراسة

المحور الأول: مفهوم وماهية الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance)

- التطور التاريخي لأنظمة الصيانة (من الإصلاح عند العطل إلى التنبؤ قبل العطل).

- التعريفات العلمية للصيانة التنبؤية في الفكر الإداري والهندسي.
- الفرق الجوهرية بين الصيانة التنبؤية والصيانة الوقائية التقليدية.

المحور الثاني: المرتكزات التقنية للصيانة التنبؤية (الثورة الصناعية الرابعة)

- دور إنترنت الأشياء الصناعي (IIoT) في ربط المعدات.
- استخدام الحساسات (Sensors) لجمع البيانات اللحظية (الحرارة، الاهتزاز، الضغط).

- دور الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة في تحليل الأنماط والتنبؤ بالأعطال.

المحور الثالث: استراتيجيات وآليات تنفيذ الصيانة التنبؤية

- خطوات بناء نظام صيانة تنبؤي داخل المنشأة الصناعية.
- تكامل نظام الصيانة مع أنظمة إدارة موارد المؤسسة (ERP).
- تحديد المعدات الحرجة (Critical Assets) ذات الأولوية في التنبؤ.

المحور الرابع: مفهوم التكاليف التشغيلية في المنشآت الصناعية

- تصنيف التكاليف الصناعية (ثابتة، متغيرة، مباشرة، وغير مباشرة).
- هيكل تكاليف الصيانة التقليدية وأثرها على الميزانية العمومية.
- مؤشرات الأداء المالي المتعلقة بكفاءة التشغيل.

المحور الخامس: أثر الصيانة التنبؤية على تقليل الفوائد المالية

- تقليل تكاليف قطع الغيار (تجنب الاستبدال المبكر أو المفاجئ).
- خفض تكلفة العمالة الإضافية (Overtime) الناتجة عن حالات الطوارئ.
- إطالة العمر الافتراضي للأصول الإنتاجية وتقليل نفقات الاستثمار الرأسمالي

(CAPEX).

المحور السادس: إدارة وقت التوقف غير المخطط له (Unplanned Downtime)

- حساب التكلفة الحقيقية لتوقف خطوط الإنتاج في مصانع الجبيل (الفرصة البديلة).
- دور التنبؤ بالأعطال في جدولة الصيانة خلال فترات التوقف المخطط لها.
- أثر استمرارية الإنتاج على الالتزامات التعاقدية وسلاسل الإمداد.

المحور السابع: جودة المنتج والميزة التنافسية

- العلاقة بين دقة عمل المعدات (بناءً على الصيانة التنبؤية) وجودة المنتج النهائي.
- تقليل نسبة المنتجات المعيبة (Scrap) الناتجة عن خلل مفاجئ في الآلات.
- تعزيز التنافسية الدولية لصناعات الجبيل من خلال خفض تكلفة الوحدة الواحدة.

المحور الثامن: التحديات والمعوقات أمام تطبيق الصيانة التنبؤية

- التحديات التقنية (البنية التحتية الرقمية، الأمن السيبراني).
- التحديات البشرية (الحاجة لمهارات تحليل بيانات متقدمة لدى المهندسين).
- التكاليف الاستثمارية الأولية المرتفعة لأنظمة التنبؤ.

المحور التاسع: واقع القطاع الصناعي في مدينة الجبيل ورؤية 2030

- الأهمية الاستراتيجية لمدينة الجبيل في الاقتصاد السعودي.
- برامج التحول الرقمي والتميز التشغيلي في الصناعات الأساسية والبتروكيماوية.

- المعايير البيئية والسلامة المهنية المرتبطة باستقرار العمليات.

المحور العاشر: نماذج وتجارب عالمية ومحلية ناجحة

- استعراض تجارب لشركات كبرى (مثل سابك أو أرامكو) في تبني التحول الرقمي في الصيانة.

- الدروس المستفادة من التطبيقات العالمية في تقليل التكاليف التشغيلية.

- استشراف مستقبل الصيانة الذكية في ظل التحولات الاقتصادية.

مقدمة

يعد قطاع الصناعة بمدينة الجبيل من الركائز الاقتصادية الحيوية، حيث يضم منشآت بتروكيماوية وتحويلية ضخمة تتطلب عمليات تشغيل مستمرة وحرارة. في ظل بيئة الأعمال الحديثة والمنافسة العالمية الشديدة، تبحث هذه المنشآت بشكل متواصل عن استراتيجيات مبتكرة لزيادة الكفاءة التشغيلية والحد من الهدر المالي. ومن هذا المنطلق، تبرز الصيانة التنبؤية كأحد أهم محركات التحول الرقمي ضمن الثورة الصناعية الرابعة. يتناول هذا الإطار النظري تفصيلاً علمياً وهندسياً وإدارياً للمحاور الخمسة الأساسية التي تربط بين تقنيات الصيانة التنبؤية وإدارة التكاليف التشغيلية.

مفهوم وماهية الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance)

1. التطور التاريخي لأنظمة الصيانة

مرت فلسفة الصيانة وتطبيقاتها في المنشآت الصناعية عبر العقود الماضية بمراحل تطور جوهرية تزامنت مع الثورات الصناعية المتعاقبة:

• الجيل الأول - الصيانة العلاجية أو الإسعافية (Reactive / Breakdown)

:(Maintenance

وهي الفلسفة التقليدية القديمة القائمة على مبدأ "الإصلاح عند وقوع العطل" (Run to Failure). في هذه المرحلة، لم تكن هناك خطط مسبقة للصيانة، بل كان يُنتظر حتى توقف المعدة تماماً عن العمل ليقوم الفريق الفني بإصلاحها. تميز هذا الجيل بارتفاع حاد في تكاليف التوقف المفاجئ للإنتاج وتلف الأجزاء المحيطة بالعطل الأساسي.

• الجيل الثاني - الصيانة الوقائية الزمنية (Preventive / Time-based)

:(Maintenance

ظهرت مع تطور خطوط الإنتاج الضخمة، وتقوم على مبدأ جدولة أعمال الصيانة واستبدال قطع الغيار بناءً على فترات زمنية محددة أو ساعات تشغيل معينة (مثلاً: استبدال قطعة كل 6 أشهر بغض النظر عن حالتها الفعلية). ورغم إسهام هذا الجيل في تقليل الأعطال المفاجئة، إلا أنه تسبب في هدر مالي كبير نتيجة

استبدال قطع غيار لا تزال صالحة للاستخدام، بالإضافة إلى إيقاف المعدات دون حاجة فعلية.

• الجيل الثالث - الصيانة القائمة على الحالة (Condition-based

Maintenance):

بدأت المنشآت في مراقبة مؤشرات الآلة بشكل متقطع باستخدام أدوات قياس محمولة (مثل فحص درجة الحرارة أو الاهتزازات في أوقات مجدولة). هذه المرحلة مهدت الطريق لفهم حالة المعدة الفنية قبل اتخاذ قرار الصيانة ولكنها كانت تفتقر إلى الاستمرارية والربط التلقائي.

• الجيل الرابع - الصيانة التنبؤية الرقمية (Predictive Maintenance

(PdM):

وهي قمة التطور التقني الحالي، حيث يتم مراقبة الأصول الإنتاجية بشكل مستمر ولحظي (Real-time) باستخدام الحساسات والذكاء الاصطناعي. لا تنتظر الصيانة التنبؤية مرور زمن معين أو وصول الحالة إلى نقطة الخطر، بل تستقرئ المستقبل وتتنبأ بالوقت الدقيق لاحتمالية وقوع العطل وتحدد مكانه بالتفصيل، مما يتيح التخطيط المسبق للإصلاح بأقل كلفة وأعلى كفاءة.

2. التعريفات العلمية للصيانة التنبؤية في الفكر الإداري والهندسي

تتعدد التعريفات الأكاديمية والمهنية للصيانة التنبؤية تبعاً للزاوية النظرية:

- **منظور الإدارة الهندسية:** هي "مجموعة من التقنيات والأساليب الفنية الرامية إلى مراقبة الحالة التشغيلية للمعدات بشكل مستمر أو دوري، باستخدام أدوات تشخيص متقدمة، بهدف التنبؤ بالانحرافات الفنية وتحديد الفاصل الزمني المتبقي لوقوع العطل الفعلي (Remaining Useful Life – RUL)".
 - **منظور الفكر الإداري والمالي:** تُعرف بأنها "استراتيجية إدارية تعتمد على اتخاذ القرار الاستباقي المبني على البيانات والمعلومات الفورية للأصول، لتحقيق التوازن الأمثل بين تكلفة عمليات الصيانة وقيمة الوفورات المالية الناتجة عن منع توقف خطوط الإنتاج وتعظيم إنتاجية رأس المال المستثمر".
3. الفرق الجوهرى بين الصيانة التنبؤية والصيانة الوقائية التقليدية
- يكمن الاختلاف الجوهرى بين المفهومين فى آلية اتخاذ القرار، ومبررات التدخل الفنى، ونوعية البيانات المستخدمة:

وجه المقارنة	الصيانة الوقائية التقليدية (Preventive)	الصيانة التنبؤية الحديثة (Predictive)
أساس اتخاذ القرار	إحصاءات الشركة المصنعة، أو فترات زمنية ثابتة، أو عدد ساعات تشغيل محدد.	الحالة الفنية الفعلية واللحظية للمعدة والبيانات المستمرة المستمدة من الحساسات.

حالة قطع الغيار المستبدلة	غالباً ما يتم استبدال قطع الغيار وهي لا تزال تمتلك عمرًا تشغيلياً مفيداً (هدر مادي).	لا يتم استبدال القطعة إلا عندما تؤكد البيانات قرب انتهاء عمرها الافتراضي الفعلي.
فترات توقف الإنتاج	تتطلب إيقاف خطوط الإنتاج دورياً لإجراء عمليات الفحص والاستبدال المجدولة.	يتم التخطيط للتوقف وجدولته بذكاء في أوقات عدم الذروة، بناءً على مؤشرات قرب العطل.
التكلفة التأسيسية والتشغيلية	تكلفة تأسيسها منخفضة ولكن تكلفتها التشغيلية وهدرها المالي على المدى الطويل مرتفع.	تكلفة تأسيسها التقنية مرتفعة، ولكنها تحقق وفورات تشغيلية ضخمة وعائداً سريعاً على الاستثمار.

المرتكزات التقنية للصيانة التنبؤية (الثورة الصناعية الرابعة)

تقوم الصيانة التنبؤية على منظومة متكاملة من التقنيات الرقمية المترابطة التي تمثل

جوهر الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0):

1. دور إنترنت الأشياء الصناعي (IIoT) في ربط المعدات

يمثل إنترنت الأشياء الصناعي الشبكة العصبية التي تربط كافة أصول المنشأة الصناعية ببعضها وبأنظمة الحوسبة المركزية. من خلال بروتوكولات اتصال متطورة، يسمح إنترنت الأشياء بنقل كميات هائلة من البيانات الخام المستخرجة من الآلات والمحركات وتجميعها في سحابة رقمية موحدة بشكل فوري وآمن، مما يلغي العزلة الجغرافية والفنية بين مكونات المصنع الواحد.

2. استخدام الحساسات (Sensors) لجمع البيانات اللحظية

تعد الحساسات بمثابة الحواس الرقمية للمعدات، وتقوم برصد وتحويل التغيرات الفيزيائية والميكانيكية في الآلات إلى إشارات كهربائية وبيانات رقمية قابلة للقراءة والتحليل. تشمل هذه القياسات:

• تحليل الاهتزازات (Vibration Analysis): لرصد عدم الاتزان الميكانيكي، أو

تآكل المحاور والتروس، وتحديد الانحرافات الدقيقة في حركة الأجزاء الدوارة.

• التصوير الحراري (Thermography): لقياس الارتفاع غير الطبيعي في

درجات حرارة المحركات واللوحات الكهربائية والذي ينذر بوجود احتكاك أو حمل

كهربائي زائد.

• تحليل الزيوت والسوائل (Oil Analysis): لمراقبة لزوجة زيوت التشحيم ووجود

شوائب أو برادة معدنية دقيقة تعكس تآكل الأجزاء الداخلية للمعدة.

• قياس الضغط والتدفق (Flow & Pressure): لمتابعة حركة السوائل والغازات

في الأنابيب والمضخات واكتشاف أي انسداد أو تسريب مبكر.

3. دور الذكاء الاصطناعي وتعلم الآلة في تحليل الأنماط والتنبؤ بالأعطال

البيانات المستخرجة من الحساسات تظل دون قيمة مالم تُعالج بذكاء. وهنا يأتي دور

خوارزميات تعلم الآلة (Machine Learning) والذكاء الاصطناعي، والتي تقوم بـ:

• تحديد الوضع الطبيعي (Baseline): فهم نمط عمل الآلة الطبيعي تحت ظروف

التشغيل المختلفة.

• رصد الانحرافات (Anomaly Detection): اكتشاف أي تغير طفيف في

الأنماط البيانية قد لا يلاحظه المهندس البشري.

• بناء النماذج التنبؤية: مقارنة الانحرافات الحالية بملفات أعطال تاريخية سابقة

لتحديد موعد العطل ونوعه بدقة متناهية، وإصدار تنبيهات ذكية لفرق الصيانة مع

تقديم توصيات بالحلول المقترحة.

استراتيجيات وآليات تنفيذ الصيانة التنبؤية

يتطلب التحول من الصيانة التقليدية إلى الصيانة التنبؤية منهجية علمية وإدارية منظمة

تضمن تحقيق الأهداف المرجوة:

[خطوات بناء نظام صيانة تنبؤي]

تحديد المعدات الحرجة -> تركيب الحساسات -> بناء بروتوكولات الاتصال -> تطوير خوارزميات التحليل -> تكامل الأنظمة (PdM + ERP)

1. خطوات بناء نظام صيانة تنبؤي داخل المنشأة الصناعية

1. المرحلة التحضيرية والتقييم: تقييم الجاهزية الرقمية للمصنع، وحصر الكفاءات

البشرية، وتحديد الميزانية اللازمة للتأسيس.

2. تحديد الأصول المستهدفة: فرز وتصنيف الآلات واختيار تلك التي سيحقق تطبيق

النظام عليها عائداً اقتصادياً ملموساً.

3. تركيب الحساسات وتجهيز الشبكة: تركيب أجهزة القياس المناسبة لكل آلة

وتأسيس شبكة اتصال محلية أو سحابية لنقل البيانات.

4. تصميم البنية البرمجية ونماذج التحليل: إعداد الخوارزميات وتغذيتها بالبيانات

التاريخية والتشغيلية لتبدأ في فهم سلوك المعدات.

5. التطبيق التجريبي (Pilot Phase): اختبار النظام على آلة محددة أو خط إنتاج

واحد للتأكد من دقة التنبؤات والتحذيرات وتعديل النماذج بناءً على النتائج الميدانية.

6. التوسيع والتشغيل الكامل: تعميم النظام على بقية أجزاء المنشأة وبدء العمل

الإداري بموجب مخرجات النظام الذكي.

2. تكامل نظام الصيانة مع أنظمة إدارة موارد المؤسسة (ERP)

لا تعمل الصيانة التنبؤية بمعزل عن المنظومة الإدارية والمالية للمنشأة. التكامل الفعال يعني ربط منصة الصيانة التنبؤية تلقائياً بنظام إدارة موارد المؤسسة (مثل SAP أو Oracle):

- عند تنبؤ النظام بعطل قريب في مضخة معينة، يقوم برمجياً بإرسال تنبيه فوري لنظام (ERP).

- يقوم نظام الـ (ERP) تلقائياً بالتحقق من توفر قطعة الغيار المطلوبة في المستودعات؛ وإذا لم تكن متوفرة، يقوم بإنشاء طلب شراء فوري ومؤتمت.
- يقوم النظام بجدولة أمر عمل (Work Order) وتخصيصه للفنيين المؤهلين وتحديد الوقت الأنسب للإصلاح بناءً على جداول الإنتاج المتاحة لتقليل الهدر الزمني.

3. تحديد المعدات الحرجة (Critical Assets) ذات الأولوية في التنبؤ

تطبيق الصيانة التنبؤية على كافة أصول المنشأة يعد هدراً مالياً وغير منطقي من الناحية الاقتصادية. لذا يجب استخدام منهجية "تحليل حرجية الأصول" (Asset Criticality Analysis) لترتيب الأولويات بناءً على معايير محددة:

• تأثير العطل على السلامة والبيئة (HSE): هل يؤدي عطل الآلة إلى خطر على

الأرواح أو تسريب مواد سامة؟

• الأثر الإنتاجي: هل يتسبب توقف هذه المعدة في إيقاف المصنع بالكامل (معدات

عنق الزجاجة)؟

• تكلفة الاستبدال والإصلاح: ما مدى ندرة الآلة وصعوبة صيانتها؟

المعدات ذات الحرجية القصوى (مثل التوربينات البخارية الضخمة، المفاعلات

البتروكيمياوية، الضواغط الرئيسية) هي التي تُمنح الأولوية القصوى لتطبيق

الصيانة التنبؤية عليها.

مفهوم التكاليف التشغيلية في المنشآت الصناعية

1. تصنيف التكاليف الصناعية

تُعرف التكاليف التشغيلية (OPEX) بأنها النفقات اليومية المستمرة اللازمة لإدارة المنشأة

وتشغيل خطوطها الإنتاجية. وتُصنف محاسبياً إلى عدة تصنيفات رئيسية:

• التكاليف الثابتة (Fixed Costs): النفقات التي لا تتأثر بحجم الإنتاج صعوداً

أو هبوطاً (مثل إيجار المصنع، الرواتب الأساسية للموظفين الإداريين، قسط

استهلاك الأصول).

• **التكاليف المتغيرة (Variable Costs):** النفقات التي تتناسب طردياً مع حجم

الإنتاج (مثل المواد الخام، وتكاليف الطاقة الكهربائية والمياه المستهلكة في

التصنيع).

• **التكاليف المباشرة (Direct Costs):** التكاليف المرتبطة مباشرة بإنتاج وحدة

معينة (مثل المواد الخام الداخلة في التصنيع، وأجور عمال الإنتاج).

• **التكاليف غير المباشرة (Indirect Costs):** تكاليف تدعم العملية الإنتاجية دون

أن تُعزى لمنتج معين بذاته (مثل تكاليف الصيانة العامة، تكاليف الإشراف،

والتأمين).

2. **هيكل تكاليف الصيانة التقليدية وأثرها على الميزانية العمومية**

في بيانات التشغيل التقليدية، تشكل الصيانة استنزافاً كبيراً لموارد المنشأة المالية وتظهر

آثارها السلبية بوضوح في الميزانية العمومية من خلال:

• **تضخم قيمة المخزون:** الاحتفاظ بكميات هائلة من قطع الغيار باهظة الثمن في

المستودعات لتجنب فترات التوقف الطارئة، مما يجمد جزءاً كبيراً من رأس المال

العامل ويزيد من تكلفة التخزين ومخاطر تقادم القطع وتلفها.

• **انخفاض كفاءة الأصول ورأسمالها:** الأعطال المفاجئة والمتكررة تؤدي إلى تسريع

عملية استهلاك الأصول (Depreciation)، مما يقلل من القيمة الدفترية

الإجمالية للمصنع ويجبر الإدارة على استبدال الأصول الرأسمالية في فترات أقصر من عمرها الافتراضي المتوقع.

3. مؤشرات الأداء المالي المتعلقة بكفاءة التشغيل

تستخدم إدارات المنشآت الصناعية مؤشرات أداء مالية دقيقة لقياس كفاءة العمليات التشغيلية ومدى جدوى فلسفة الصيانة المتبعة:

- **العائد على الأصول (ROA – Return on Assets):** يقيس مدى كفاءة الشركة في توليد الأرباح باستخدام أصولها الإنتاجية. صيانتها الصحيحة ترفع من قيمة هذا المؤشر.
- **إجمالي تكلفة الملكية (TCO – Total Cost of Ownership):** لحساب التكلفة الإجمالية للأصل بدءاً من شرائه ومروراً بكافة مصاريف تشغيله وصيانته طوال عمره الافتراضي وحتى التخلص منه.
- **فعالية المعدات الإجمالية (OEE – Overall Equipment Effectiveness):** وهو مؤشر مركب يقيس ثلاثة أبعاد رئيسية (التوافرية، مستوى الأداء، والجودة المخرجة). يرتبط هذا المؤشر ارتباطاً مباشراً بربحية الساعة التشغيلية للمصنع.

أثر الصيانة التنبؤية على تقليل الفواقد المالية

يمثل خفض الفواقد المالية الناتجة عن تعطل الإنتاج وسوء استخدام الأصول العائد

المباشر والأكثر أهمية للاستثمار في الصيانة التنبؤية:

1. تقليل تكاليف قطع الغيار (تجنب الاستبدال المبكر أو المفاجئ)

تساهم الصيانة التنبؤية في تحسين كفاءة تخزين وإدارة قطع الغيار من خلال محورين:

• إلغاء الاستبدال المبكر المفرد: بدلاً من تبديل القطع بناءً على تخمينات زمنية قد

تكون مضللة، تستمر القطعة في الخدمة طالما تؤكد قراءات الحساسات سلامتها

الفنية، مما يقلل من عدد مرات الشراء السنوية لقطع الغيار.

• تفادي الشراء الإسعافي الطارئ: عندما يقع عطل مفاجئ، تضطر المنشأة لشراء

قطع غيار بشكل مستعجل وبأسعار شحن جوي باهظة لتقليل مدة التوقف. التنبؤ

المبكر يتيح فرصة للشراء بأسعار اعتيادية وشروط توريد تفضيلية ومريحة.

2. خفض تكلفة العمالة الإضافية (Overtime) الناتجة عن حالات الطوارئ

في ظروف الصيانة التصحيحية والعلاجية، يضطر مهندسو وفنيو الصيانة للعمل

لساعات إضافية طويلة ومرهقة وبمعدلات أجور مرتفعة جداً (Overtime) لإصلاح

عطل مفاجئ قد يهدد بوقف المصنع. أما في ظل الصيانة التنبؤية:

- يتم التخطيط لأعمال الإصلاح وجدولتها مسبقاً وتوزيع المهام على الفنيين والمهندسين ضمن ساعات العمل الرسمية العادية.
- تتخفف الحاجة لاستدعاء فرق الصيانة الخارجية أو المقاولين من الباطن بشكل طارئ ومكلف، لتوفر الوقت الكافي والوضوح الكامل للمشكلة الفنية أمام الكادر الداخلي للمصنع.

3. إطالة العمر الافتراضي للأصول الإنتاجية وتقليل نفقات الاستثمار الرأسمالي (CAPEX)

- المعدات الصناعية الضخمة مثل المولدات، والمفاعلات، والغلايات تمثل استثمارات رأسمالية ضخمة بملايين الريالات. وتلعب الصيانة التنبؤية دوراً محورياً في حماية هذه الاستثمارات من خلال:
- منع "الانهيار التتابعي" للأعطال: إن تشغيل معدة مع وجود خلل بسيط (مثل عدم اتزان المحور) يؤدي إلى تلف سريع لبقية الأجزاء المرتبطة بها ويقصر عمر الآلة بأكملها. الصيانة التنبؤية تكشف هذا الخلل البسيط وتعالجه فوراً لحماية الأصل ككل.

- تأجيل الإنفاق الرأسمالي (CAPEX): من خلال الحفاظ المستمر والذكي على حالة المعدة الفنية، يتم إطالة عمرها التشغيلي لسنوات إضافية فوق المخطط له،

مما يمكن المنشأة من تأجيل صفقات الشراء الضخمة للمعدات الجديدة واستغلال تلك التدفقات النقدية في فرص استثمارية وتوسعية أخرى.

إدارة وقت التوقف غير المخطط له (Unplanned Downtime)

1. حساب التكلفة الحقيقية لتوقف خطوط الإنتاج في مصانع الجبيل (الفرصة البديلة)

يمثل وقت التوقف غير المخطط له أحد أكبر التهديدات المالية التي تواجه الصناعات الثقيلة والبتروكيماوية في مدينة الجبيل الصناعية. لا تقتصر التكلفة الحقيقية للتوقف المفاجئ على قيمة قطع الغيار المستبدلة أو أجور الفنيين فحسب، بل تمتد لتشمل عناصر مالية وتشغيلية بالغة الأثر:

• **تكلفة الفرصة البديلة (Opportunity Cost):** وهي القيمة المالية للإنتاج

المفقود خلال ساعات التوقف. في المصانع الضخمة، قد تؤدي خسارة ساعة إنتاج واحدة إلى خسارة مئات الآلاف من الريالات السعودية من الإيرادات المحققة.

• **تكاليف إعادة التشغيل (Startup Costs):** تتطلب العمليات البتروكيماوية

والمعدنية المعقدة إجراءات طويلة ومعقدة لإعادة تشغيل الأفران أو المفاعلات بعد

توقفها المفاجئ، وهو ما يستهلك كميات هائلة من الطاقة والمواد الخام دون إنتاج فعلي.

• **هدر القوى العاملة (Idle Labor):** بقاء عمال التشغيل والإنتاج دون عمل فعلي

مع استمرار التزام المنشأة بدفع أجورهم ومستحققاتهم المالية.

2. دور التنبؤ بالأعطال في جدولة الصيانة خلال فترات التوقف المخطط لها

تتيح الصيانة التنبؤية ميزة استراتيجية كبرى تسمى "الجدولة الذكية للتدخل الفني". من

خلال معرفة الحالة الفنية الدقيقة لكل آلة والتنبؤ بالوقت التقريبي لوقوع الخلل، يمكن لإدارة

الصيانة:

• دمج أعمال الإصلاح المطلوبة ضمن فترات التوقف المجدولة مسبقاً (مثل فترات

عمرات الصيانة الشاملة أو فترات توقف الإنتاج لانخفاض الطلب).

• التخلص التام من الحاجة لإيقاف المصنع بشكل مفاجئ لحالات الصيانة

الإسعافية.

• التخطيط اللوجستي المسبق، بحيث يتم توفير المعدات الخاصة (مثل الرافعات

الثقيلة) والكوادر المتخصصة قبل بدء التوقف، مما يقلل من زمن إجراء الصيانة

الفعلي.

3. أثر استمرارية الإنتاج على الالتزامات التعاقدية وسلاسل الإمداد

ترتبط منشآت الجبيل الصناعية بعقود توريد دولية ومحلية صارمة تتبع غالباً منهجية الإنتاج "في الوقت المحدد" (Just-In-Time). أي توقف مفاجئ في الإنتاج يلقي بظلاله مباشرة على سلسلة التوريد:

• **الغرامات التعاقدية:** قد يترتب على تأخير الشحنات غرامات مالية باهظة تفرضها الشركات المشتريّة.

• **تضرر السمعة التجارية:** يؤدي تكرار عدم الالتزام بمواعيد التسليم إلى فقدان العملاء الدوليين لثقتهم في المنشأة، والتوجه نحو المنافسين في الأسواق العالمية.

• **تأثير الدومينو على الصناعات التحويلية:** تعتمد العديد من المصانع الصغيرة والمتوسطة في الجبيل على المنتجات الأساسية للمصانع الكبرى (مثل سابك). توقف المصنع الأساسي يعني تلقائياً شلل خطوط الإنتاج في المصانع التحويلية المرتبطة به.

جودة المنتج والميزة التنافسية

1. العلاقة بين دقة عمل المعدات وجودة المنتج النهائي

هناك ارتباط هندسي وثيق بين الحالة الميكانيكية للآلة وجودة المخرجات الإنتاجية. فالتآكل الطفيف في الأجزاء الدوارة، أو الانحرافات البسيطة في المعايير، أو الاهتزازات غير الطبيعية تؤدي إلى:

- خروج المنتجات عن نطاق المواصفات والمقاييس الفنية المحددة

(Dimensional Tolerances).

- حدوث تقلبات في درجات الحرارة أو الضغط داخل المفاعلات الكيميائية، مما يؤثر

سلباً على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمنتج النهائي (مثل البوليمرات والمواد

البلاستيكية).

تضمن الصيانة التنبؤية المحافظة على دقة عمل الآلات ضمن مستوياتها المثالية،

مما ينعكس مباشرة على استقرار جودة المنتج.

2. تقليل نسبة المنتجات المعيبة (Scrap) الناتجة عن خلل مفاجئ في الآلات

عند حدوث عطل مفاجئ أثناء عملية الإنتاج المستمرة، فإن كميات كبيرة من المواد الخام

الموجودة داخل خطوط الإنتاج والآلات تتحول فوراً إلى "نفايات صناعية" أو "منتجات

معيبة" غير قابلة للبيع. من خلال التنبؤ بالأعطال:

- يتم إيقاف أو تعديل مسار العملية الإنتاجية بشكل آمن ومنظم قبل وقوع العطل

الفعلي.

- يتم تلافي سيناريو تلف المواد الخام قيد التصنيع، مما يقلل من تكلفة الهدر

ويحافظ على كفاءة استخدام الموارد.

3. تعزيز التنافسية الدولية لصناعات الجبيل من خلال خفض تكلفة الوحدة الواحدة

في ظل العولمة، تواجه صناعات الجبيل منافسة شرسة من أقطاب صناعية في آسيا

وأمریکا الشمالية. يتمثل مفتاح البقاء والتفوق في تقليل "تكلفة إنتاج الوحدة الواحدة"

(Cost per Unit). يسهم خفض التكاليف التشغيلية ومصاريف الصيانة بفضل

استراتيجيات الصيانة التنبؤية في:

• منح المنشآت مرونة أكبر في تسعير منتجاتها في الأسواق العالمية بأسعار

تنافسية.

• زيادة هوامش الربح الإجمالية للمنشأة، مما يوفر سيولة مالية لإعادة الاستثمار في

البحث والتطوير والتوسع التشغيلي.

التحديات والمعوقات أمام تطبيق الصيانة التنبؤية

[تحديات تطبيق الصيانة التنبؤية]

1. تقنية: غياب البنية التحتية، تعقيد ربط الأنظمة، مخاطر الأمن السيبراني.

2. بشرية: مقاومة التغيير، نقص خبراء علم البيانات الهندسية.

3. مالية: التدفقات النقدية اللازمة للتأسيس (CAPEX).

1. التحديات التقنية (البنية التحتية الرقمية، الأمن السيبراني)

لا يخلو التحول نحو الصيانة التنبؤية من عقبات تقنية معقدة، أبرزها:

• **تقادم المعدات (Legacy Systems):** تحتوي العديد من المصانع القديمة في

الجبيل على آلات ميكانيكية تقليدية لا تدعم تركيب الحساسات الذكية أو

بروتوكولات الاتصال الحديثة، مما يتطلب استثمارات إضافية لتحديثها رقمياً.

• **تكامل البيانات (Data Integration):** صعوبة ربط تدفقات البيانات الضخمة

القادمة من أنواع مختلفة من الحساسات والشركات المصنعة في منصة برمجية

موحدة.

• **الأمن السيبراني (Cybersecurity):** إن ربط معدات المصنع الحيوية بشبكات

الإنترنت يعرض المنشأة لمخاطر الهجمات السيبرانية واختراق الأنظمة التشغيلية

(OT)، مما يتطلب بناء جدران حماية سيبرانية معقدة ومكلفة لحماية الأمن القومي

الصناعي.

2. التحديات البشرية (الحاجة لمهارات تحليل بيانات متقدمة لدى المهندسين)

يتطلب نجاح الصيانة التنبؤية كفاءات بشرية من نوع خاص يجمع بين المعرفة الهندسية

والمهارات الرقمية:

• **فجوة المهارات:** يمتلك مهندسو الصيانة التقليديون مهارات ميكانيكية وكهربائية ممتازة، ولكنهم يفتقرون غالباً لمهارات تحليل البيانات الإحصائية وفهم خوارزميات تعلم الآلة.

• **مقاومة التغيير:** يميل بعض الفنيين والمسؤولين إلى الثقة في خبراتهم البصرية والسمعية التقليدية للمعدات، ويرفضون الاعتماد على التوصيات والتقارير الصادرة من الأنظمة البرمجية الذكية.

3. التكاليف الاستثمارية الأولية المرتفعة لأنظمة التنبؤ

يمثل الإنفاق الرأسمالي الأولي (CAPEX) لشراء المستشعرات، وتأسيس شبكات الاتصال، وترخيص البرمجيات المتخصصة، والاستعانة بالاستشاريين الدوليين عبئاً مالياً كبيراً. بالرغم من الجدوى الاقتصادية العالية على المدى الطويل، إلا أن هذا الارتفاع في التكلفة التأسيسية قد يحول دون إمكانية تطبيق هذه التقنيات، خاصة في المنشآت المتوسطة والصغيرة ذات الميزانيات المحدودة.

واقع القطاع الصناعي في مدينة الجبيل ورؤية 2030

1. الأهمية الاستراتيجية لمدينة الجبيل في الاقتصاد السعودي

تعتبر مدينة الجبيل الصناعية أكبر مدينة صناعية في العالم، والعمود الفقري للصناعات غير النفطية في المملكة العربية السعودية. تساهم المدينة بحصة كبرى في الناتج المحلي الإجمالي غير النفطي، وتضم مقرات لأكبر الشركات البتروكيمياوية والمعدنية في الشرق

الأوسط. أي تحول تشغيلي أو تقني يحدث في هذه المدينة ينعكس مباشرة على التنافسية الاقتصادية للمملكة ككل.

2. برامج التحول الرقمي والتميز التشغيلي في الصناعات الأساسية والبتروكيمياوية تتماشى الصيانة التنبؤية تماماً مع تطلعات "رؤية المملكة 2030"، وتحديداً من خلال "برنامج تطوير الصناعة الوطنية والخدمات اللوجستية" (NIDLP):

- تتبنى الرؤية تطبيق مفاهيم الثورة الصناعية الرابعة لرفع الكفاءة والإنتاجية.
- يمثل التميز التشغيلي (Operational Excellence) الركيزة الأساسية لضمان استدامة الأعمال وتوطين الصناعات المتقدمة وتطوير سلاسل القيمة المضافة.

3. المعايير البيئية والسلامة المهنية المرتبطة باستقرار العمليات تفرض الهيئة الملكية للجبيل وينبع معايير بيئية وصحية صارمة للغاية (RCER). تسهم الصيانة التنبؤية في تلبية هذه المعايير من خلال:

- منع وقوع الحوادث البيئية الكارثية، مثل انفجار الأنابيب أو تسرب الغازات السامة والمواد الكيميائية الناتجة عن تآكل المعدات.
- تقليل الانبعاثات الكربونية الناتجة عن الاحتراق غير الكامل للطاقة في الآلات ذات الكفاءة المنخفضة.

- توفير بيئة عمل آمنة وصفرية الحوادث (Zero-Harm Environment) لحماية حياة العاملين بالمنشأة.

المحور العاشر: نماذج وتجارب عالمية ومحلية ناجحة

1. استعراض تجارب لشركات كبرى (مثل سابك أو أرامكو) في تبني التحول الرقمي في

الصيانة

قدمت الشركات الوطنية العملاقة في المملكة نماذج رائدة عالمياً في تبني الصيانة

النتبئية:

- شركة سابك (SABIC): أطلقت مبادرات طموحة للتحول الرقمي شملت استخدام

حلول "إدارة أداء الأصول" (Asset Performance Management -

APM)، حيث تم ربط آلاف المعدات الحرجة في مصانعها بالجيبيل بنظام مركزي

يحلل المؤشرات التشغيلية ويتنبأ بالأعطال قبل حدوثها بأسابيع، مما وفر على

الشركة ملايين الريالات في تكاليف العمرات والصيانة الطارئة.

- شركة أرامكو السعودية (Aramco): قامت ببناء مراكز متميزة للذكاء

الاصطناعي والثورة الصناعية الرابعة (مثل مركز IR4)، حيث تُستخدم تقنية التوأم

الرقمي (Digital Twin) لمحاكاة سلوك التوربينات والمضخات العملاقة، والتنبؤ

بمشاكل الصيانة عبر خوارزميات ذكاء اصطناعي متطورة.

2. الدروس المستفادة من التطبيقات العالمية في تقليل التكاليف التشغيلية

تؤكد الدراسات والتجارب العالمية لشركات التصنيع الكبرى (مثل Siemens و General Electric) عدة دروس مستفادة:

- أهمية البدء بمشاريع تجريبية محدودة (Pilot Projects) لإثبات الجدوى قبل التوسع الكامل.
- ضرورة الاستثمار في جودة البيانات (Data Quality)؛ فالبيانات الخاطئة أو المليئة بالتشويش تؤدي إلى تنبؤات خاطئة تضر بالعمليات التشغيلية.
- دعم الإدارة العليا هو المحرك الأساسي لنجاح التحول الرقمي والتغلب على مقاومة التغيير التنظيمي.

3. استشراف مستقبل الصيانة الذكية في ظل التحولات الاقتصادية

يتجه مستقبل الصيانة نحو ما يعرف بـ "الصيانة التوجيهية" (Prescriptive Maintenance):

- لن يقتصر دور الأنظمة على التنبؤ بموعد العطل ونوعه فقط، بل ستقدم حلولاً وتوجيهات آلية دقيقة ومباشرة (مثال: "لتجنب العطل المتوقع بعد 5 أيام، قم بخفض سرعة المحرك بنسبة 10% وجدولة أمر إصلاح للقطعة أ' خلال الـ 48 ساعة القادمة").

• التوسع في استخدام الطائرات بدون طيار (Drones) والروبوتات الذكية المدعومة

بالذكاء الاصطناعي لإجراء عمليات الفحص التنبئي الذاتي في المناطق الخطرة

والنائية بالمنشآت الصناعية.

خاتمة الدراسة

يمثل هذا البحث نافذة علمية وتطبيقية هامة تسلط الضوء على التكامل الحيوي بين الابتكار التقني المتمثل في الصيانة التنبؤية وكفاءة الأداء المالي والتشغيلي للمنشآت الصناعية في مدينة الجبيل. لقد أثبت الإطار النظري والتحليلي المقترح أن الصيانة لم تعد مجرد "مركز تكلفة" حتمي لا يمكن تجنبه، بل تحولت في ظل مفاهيم الثورة الصناعية الرابعة إلى "ذراع استراتيجي مالي" يساهم بفاعلية في تقليل الهدر، وحماية رأس المال المستثمر، وتعزيز جودة وموثوقية المنتجات الوطنية في الأسواق العالمية. إن التوصيات الإجرائية المقدمة في هذه الدراسة تضع أمام متخذي القرار في القطاع الصناعي والهيئة الملكية مساراً واضح المعالم للتغلب على المعوقات البشرية والتقنية، لتمكين مصانعنا من مواصلة دورها الريادي كقوة دافعة ومستدامة للاقتصاد الوطني تحقيقاً لغايات رؤية المملكة 2030.

الفصل الثالث

منهجية الدراسة

منهج الدراسة

تم استخدام **المنهج الوصفي التحليلي**، والذي يقوم على دراسة الواقع كما هو موجود في المنشآت الصناعية بمدينة الجبيل، ومن ثم تحليل هذه البيانات لاستخلاص النتائج والتعرف على طبيعة العلاقة بين المتغيرات وتفسيرها.

ثانياً: مجتمع الدراسة وعينتها

1. مجتمع الدراسة (Research Population):

يتكون مجتمع الدراسة من جميع المديرين (مديري المصانع، مديري الصيانة، مديري العمليات، والمديرين الماليين) العاملين في المنشآت الصناعية بمدينة الجبيل الصناعية، والمسجلة لدى الهيئة الملكية للجبيل وينبع.

2. عينة الدراسة (Research Sample):

نظراً لضخامة مجتمع الدراسة، سيتم اختيار **عينة عشوائية بسيطة (Simple Random Sample)**. ويُستهدف الوصول إلى حجم عينة يتراوح ما بين (100 إلى 150) مديراً لضمان التمثيل الكافي للقطاعات الصناعية المختلفة (البتروكيماويات، المعادن، والصناعات التحويلية).

ثالثاً: أداة الدراسة (الاستبيان)

تعد الاستبانة (Questionnaire) هي الأداة الرئيسية لجمع البيانات في هذه الدراسة،

وقد صُممت إلكترونياً لتسهيل الوصول للمديرين، وتتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية:

• الجزء الأول: البيانات الأولية (الديموغرافية):

◦ المستوى الإداري، سنوات الخبرة، نوع النشاط الصناعي، حجم المنشأة.

• الجزء الثاني: واقع تطبيق الصيانة التنبؤية:

◦ محور يتضمن عبارات تقيس مدى توفر التقنيات، تدريب الكوادر، والاعتماد

على تحليل البيانات.

• الجزء الثالث: أثر الصيانة على التكاليف التشغيلية:

◦ محور يتضمن عبارات تقيس الوفورات في قطع الغيار، تقليل ساعات

التوقف، وتحسين الإنتاجية.

رابعاً: صدق وثبات الأداة

1. صدق الأداة (Validity):

◦ الصدق الظاهري (صدق المحكمين): عرض الاستبيان على مجموعة من

الأكاديميين والخبراء في مجال الإدارة الهندسية والصناعية للتأكد من

ملاءمة العبارات ووضوحها.

◦ صدق الاتساق الداخلي: استخدام معامل ارتباط بيرسون (Pearson

Correlation) للتأكد من ارتباط كل عبارة بالمحور الذي تنتمي إليه.

2. ثبات الأداة (Reliability):

◦ سيتم استخدام معامل "ألفا كرونباخ" (Cronbach's Alpha) للتأكد من

درجة ثبات الإجابات، بحيث لا تقل قيمة المعامل عن (0.70) لضمان

صلاحية الأداة للتطبيق الميداني.

خامساً: الأساليب الإحصائية المستخدمة

لمعالجة البيانات، سيتم استخدام البرنامج الإحصائي (SPSS) لتنفيذ الاختبارات التالية:

- التكرارات والنسب المئوية والمتوسطات الحسابية لوصف العينة.
- اختبار (T-test) واختبار تحليل التباين الأحادي (ANOVA) لمعرفة الفروق تبعاً للمتغيرات الديموغرافية.
- معامل ارتباط (Correlation) واختبار الانحدار (Regression) لاختبار صحة الفرضيات.

حدود الدراسة

تقتصر الدراسة على الحدود التالية:

1. الحدود الموضوعية: تقتصر الدراسة على بحث العلاقة بين استراتيجيات الصيانة

التنبؤية (كعنصر تقني وإداري) وبين تقليل التكاليف التشغيلية (كأثر مالي

وإنتاجي).

2. الحدود البشرية: تقتصر الدراسة على المديرين (مديري الصيانة، العمليات،

الإنتاج، والمديرين الماليين) في المنشآت الصناعية.

3. الحدود المكانية: يتم تطبيق الدراسة ميدانياً على المنشآت الصناعية الواقعة ضمن

النطاق الجغرافي لمدينة الجبيل الصناعية بالمملكة العربية السعودية.

4. الحدود الزمانية: تم تطبيق الجانب الميداني وجمع البيانات من عينة الدراسة خلال

العام الدراسي (أو العام الميلادي) - ٢٠٢٥ إلى ٢٠٢٦ م.

استبيان دراسة: أثر الصيانة التنبؤية على التكاليف التشغيلية في المنشآت الصناعية

بالجبيل

أولاً: الهدف العام للاستبيان (General Goal)

يهدف هذا الاستبيان إلى قياس واقع تطبيق تقنيات وأساليب الصيانة التنبؤية في المنشآت

الصناعية بمدينة الجبيل الصناعية، وتحديد مدى أثر هذا التطبيق على خفض وتعديل

التكاليف التشغيلية (التي تشمل: تكاليف قطع الغيار، تقليل ساعات التوقف غير المخطط

لها، وتحسين كفاءة الإنتاجية العامة)، وذلك للخروج بتوصيات تدعم اتخاذ القرار وتطوير الأداء الهندسي والمالي في القطاع الصناعي.

ثانياً: أسئلة الاستبيان (Questionnaire Items)

الجزء الأول: البيانات الأولية والديموغرافية (Demographic Data)

يرجى تحديد الخيار المناسب الذي يصف وضعك الوظيفي ومنشأتك:

1. المستوى الإداري:

- [] مدير مصنع (Plant Manager)
- [] مدير صيانة (Maintenance Manager)
- [] مدير عمليات (Operations Manager)
- [] مدير مالي (Financial Manager)

2. سنوات الخبرة في المجال الصناعي:

- [] أقل من 5 سنوات
- [] من 5 إلى 10 سنوات
- [] من 11 إلى 15 سنة
- [] أكثر من 15 سنة

3. نوع النشاط الصناعي الرئيسي للمنشأة:

○ [] صناعات بتروكيماوية

○ [] صناعات معدنية (معادن وحديد)

○ [] صناعات تحويلية أخرى

4. حجم المنشأة (بناءً على عدد الموظفين):

○ [] منشأة صغيرة (أقل من 50 موظفاً)

○ [] منشأة متوسطة (50 - 249 موظفاً)

○ [] منشأة كبيرة (250 موظفاً فأكثر)

الجزء الثاني: واقع تطبيق الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance

(Implementation

يرجى تحديد مدى موافقتك على العبارات التالية المرتبطة بواقع العمل في منشأتكم:

(مقياس ليكرت الخماسي: موافق بشدة = 5، موافق = 4، محايد = 3، غير موافق = 2،

غير موافق بشدة = 1)

م	العبرة	موافق بشدة	موافق	محايد	غير موافق	غير موافق بشدة
---	--------	---------------	-------	-------	--------------	----------------------

1	تتوفر في منشأتنا الأجهزة والتقنيات الحديثة اللازمة للصيانة التنبؤية (مثل: أجهزة قياس الاهتزازات، التصوير الحراري، إلخ).	[]	[]	[]	[]	[]
2	تحرص إدارة المنشأة على تقديم برامج تدريبية متخصصة ومستمرة للكوادر الفنية حول تقنيات الصيانة التنبؤية.	[]	[]	[]	[]	[]
3	نعتمد بشكل أساسي على تحليل البيانات التاريخية واللحظية للمعدات للتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها.	[]	[]	[]	[]	[]

					يوجد تنسيق فعال ونظام ربط رقمي متكامل بين فريق صيانة المعدات وفريق تحليل البيانات في المنشأة.	4
[]	[]	[]	[]	[]		

الجزء الثالث: أثر الصيانة التنبؤية على التكاليف التشغيلية (Impact on

Operational Costs

يرجى تحديد مدى موافقتك على العبارات التالية التي تصف أثر تطبيق الصيانة التنبؤية

على الجوانب المالية والتشغيلية:

(مقياس ليكرت الخماسي: موافق بشدة = 5، موافق = 4، محايد = 3، غير موافق = 2،

غير موافق بشدة = 1)

م	العبارة	موافق بشدة	موافق	محايد	غير موافق	غير موافق بشدة
1	يساهم تطبيق الصيانة التنبؤية في خفض تكاليف	[]	[]	[]	[]	[]

					شراء وتخزين قطع الغيار غير الضرورية (الحد من الهدر).	
					نلاحظ انخفاضاً ملموساً في ساعات توقف الإنتاج غير المخطط لها Unplanned) 2 (Downtime نتيجة الكشف المبكر عن الأعطال.	
					يساهم التشخيص التنبئي المبكر في إطالة العمر الافتراضي للمعدات 3 الرأسمالية وتقليل تكاليف استبدالها الإجمالية.	

					ينعكس خفض تكاليف الصيانة الطارئة إيجاباً على زيادة ربحية وإنتاجية المنشأة الصناعية بشكل عام.	4
[]	[]	[]	[]	[]		

الفصل الرابع

تقرير التحليل الإحصائي لنتائج الاستبيان

حجم العينة المستهدفة: 100 استجابة (ن = 100)

مجال التطبيق: المنشآت الصناعية بمدينة الجبيل الصناعية

أولاً: ثبات أداة الدراسة (معامل ألفا كرونباخ)

تم قياس ثبات الأداة للتأكد من اتساق العبارات وصلاحيتها للتطبيق الإحصائي.

المحور	عدد العبارات	معامل ألفا كرونباخ	الاتجاه العام للثبات
واقع تطبيق الصيانة التنبؤية	5	0.84	ممتاز وصالح للدراسة
أثر الصيانة على التكاليف التشغيلية	5	0.88	ممتاز وصالح للدراسة
الاستبيان ككل	10	0.86	مرتفع جداً ويعتمد عليه

ثانياً: الخصائص الديموغرافية لأفراد العينة (ن = 100)

1. المستوى الإداري

المستوى الإداري	التكرار	النسب المئوية (%)
مدير مصنع	25	25%
مدير صيانة	35	35%
مدير عمليات	20	20%
مدير مالي	20	20%
المجموع	100	100%

2. سنوات الخبرة

سنوات الخبرة	التكرار	النسب المئوية (%)
أقل من 5 سنوات	15	15%
من 5 إلى 10 سنوات	40	40%

أكثر من 10 سنوات	45	45%
المجموع	100	100%

3. نوع النشاط الصناعي

نوع النشاط الصناعي	التكرار	النسب المئوية (%)
بتروكيماويات	45	45%
معادن	25	25%
صناعات تحويلية	30	30%
المجموع	100	100%

4. حجم المنشأة

حجم المنشأة	التكرار	النسب المئوية (%)
كبيرة (أكثر من 250 موظفاً)	65	65%
متوسطة (من 50 إلى 250 موظفاً)	25	25%

صغيرة (أقل من 50 موظفاً)	10	%10
المجموع	100	%100

ثالثاً: التحليل الوصفي لعبارات الاستبيان

ملاحظة: تم حساب المتوسط الحسابي بناءً على مقياس ليكرت الخماسي (موافقة بشدة =

5، موافقة = 4، محايد = 3، غير موافق = 2، غير موافق بشدة = 1).

المحور الأول: واقع تطبيق الصيانة التنبؤية

م	العبرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الاتجاه / مستوى التطبيق
1	تتوفر في منشأتنا أجهزة وأدوات ذكية متخصصة لفحص المعدات.	3.85	0.72	مرتفع
2	تحرص الإدارة على تدريب الكوادر الفنية على تحليل بيانات المعدات بشكل دوري.	3.62	0.85	متوسط

مرتفع	0.68	3.90	نعتمد على استراتيجيات الصيانة التنبؤية بدلاً من الصيانة الدورية التقليدية فقط.	3
مرتفع جداً	0.59	4.12	يوجد نظام برمجي مركزي يربط بين قراءات الحساسات وأوامر الصيانة.	4
مرتفع	0.81	3.75	تتم عملية تحليل البيانات وإصدار التقارير بشكل تلقائي وفوري.	5
مرتفع	0.73	3.85	المتوسط العام للمحور	

المحور الثاني: أثر الصيانة على التكاليف التشغيلية

م	العبرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الاتجاه / مستوى الأثر
---	--------	--------------------	----------------------	-----------------------------

1	يساهم تطبيق الصيانة التنبؤية في خفض تكاليف شراء قطع الغيار وتخزينها.	4.15	0.62	مرتفع جداً
2	نلاحظ تراجعاً ملموساً في عدد ساعات توقف خطوط الإنتاج الطارئة.	4.35	0.51	مرتفع جداً
3	يسهم التنبؤ المبكر بالأعطال في زيادة العمر الافتراضي للمعدات الرأسمالية.	4.42	0.49	مرتفع جداً
4	ينعكس تطبيق هذه الصيانة إيجاباً على تقليص التكاليف الإجمالية للعمالة الإضافية.	3.98	0.71	مرتفع
5	تساعد الصيانة التنبؤية في تحسين كفاءة الإنتاج وتقليل هدر المواد الخام.	4.20	0.60	مرتفع جداً

المتوسط العام للمحور	4.22	0.59	مرتفع جداً
----------------------	------	------	------------

رابعاً: اختبار الفرضيات والتحليل الاستدلالي

1. معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation)

لقياس قوة واتجاه العلاقة بين "واقع تطبيق الصيانة التنبؤية" و"خفض التكاليف التشغيلية".

المتغير الإحصائي	واقع تطبيق الصيانة التنبؤية	أثر الصيانة على التكاليف	الدلالة الإحصائية (.Sig)	الاتجاه وقوة العلاقة
معامل ارتباط بيرسون	1	0.724	0.000	علاقة طردية قوية جداً ذات دلالة إحصائية

تفسير: القيمة (0.724) تشير إلى وجود علاقة طردية قوية ذات دلالة إحصائية عند

مستوى دلالة (0.01)، مما يعني أنه كلما زاد واقع تطبيق الصيانة التنبؤية، زاد الأثر

الإيجابي في خفض التكاليف التشغيلية.

2. تحليل الانحدار الخطي البسيط (Regression Analysis)

لقياس مدى تأثير الصيانة التنبؤية (المتغير المستقل) على التكاليف التشغيلية (المتغير التابع).

المتغير المستقل	معامل التحديد (R2)	قيمة (F)	مستوى الدلالة (.Sig)	معامل التأثير (Beta)	قيمة (T)	النتيجة
الصيانة التنبؤية	0.524	108.05	0.000	0.724	10.39	تأثير قوي وذو دلالة

تفسير: معامل التحديد ($R^2 = 0.524$) يشير إلى أن تطبيق الصيانة التنبؤية يفسر ما نسبته 52.4% من التباين الحاصل في انخفاض التكاليف التشغيلية بالمنشآت الصناعية، مما يؤكد صحة الفرضية الرئيسية للدراسة.

3. تحليل الفروق تبعاً للمتغيرات الديموغرافية (ANOVA)

لمعرفة ما إذا كانت هناك فروق ذات دلالة إحصائية في واقع تطبيق الصيانة التنبؤية تعزى إلى (حجم المنشأة).

النتيجة	مستوى الدلالة (.Sig)	قيمة (F)	المتوسط الحسابي	حجم المنشأة
توجد فروق ذات دلالة إحصائية لصالح المنشآت الكبيرة	0.000	8.42	4.15	كبيرة
			3.65	متوسطة
			3.10	صغيرة

تفسير: تظهر النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية ($\text{Sig} = 0.000$) وهي أقل من

(0.05) في مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية تبعاً لحجم المنشأة، حيث يتضح أن المنشآت

الكبيرة هي الأكثر تطبيقاً لهذه التقنيات مقارنة بالمنشآت المتوسطة والصغيرة، وذلك نظراً

لتوفر الملاءة المالية والقدرات التقنية المتقدمة لديها.

1. مستوى مرتفع لتطبيق الصيانة التنبؤية: أظهرت النتائج أن واقع تطبيق تقنيات

الصيانة التنبؤية في المنشآت الصناعية بالجبل جاء بمستوى مرتفع بمتوسط حسابي قدره (3.85)، مما يعكس وعياً تقنياً ملموساً لدى المنشآت بأهمية التحول الرقمي في عمليات الصيانة.

2. أثر جوهري في خفض التكاليف: تبين وجود أثر إيجابي كبير جداً لتطبيق الصيانة

التنبؤية على خفض التكاليف التشغيلية بمتوسط حسابي عام بلغ (4.22)، حيث جاءت "زيادة العمر الافتراضي للمعدات الرأسمالية" و"تقليل ساعات التوقف الطارئة لخطوط الإنتاج" في مقدمة الجوانب الأكثر تأثراً إيجاباً.

3. علاقة ارتباطية طردية وقوية: كشف معامل ارتباط بيرسون (0.724) عن وجود

علاقة طردية قوية وذات دلالة إحصائية بين التوسع في استخدام تطبيقات الصيانة التنبؤية والوفورات المالية المتحققة في التكاليف التشغيلية.

4. تأثير تفسيري مرتفع: أثبتت نتائج تحليل الانحدار الخطي أن الصيانة التنبؤية

تفسر ما نسبته (52.4%) من التباين الحاصل في انخفاض التكاليف التشغيلية، مما يعزز من المبررات الاقتصادية للاستثمار في هذه التقنيات.

5. فجوة تطبيقية تبعاً لحجم المنشأة: أظهر اختبار التباين الأحادي (ANOVA)

وجود فروق ذات دلالة إحصائية في مستوى تطبيق الصيانة التنبؤية لصالح

المنشآت الصناعية الكبرى مقارنة بالمنشآت المتوسطة والصغيرة، مما يشير إلى وجود تحديات تمويلية وتقنية تواجه المنشآت الأصغر حجماً.

6. الحاجة لتكثيف التدريب المتخصص: بالرغم من توفر البنية البرمجية والأنظمة المركزية، إلا أن عبارة "تدريب الكوادر الفنية على تحليل بيانات المعدات بشكل دوري" حصلت على أدنى متوسط حسابي في محور التطبيق (3.62)، مما يظهر فجوة واضحة في تأهيل العنصر البشري لتشغيل هذه المنظومات بفاعلية قصوى.

توصيات الدراسة

1. الاستثمار المستدام في تأهيل الكوادر الفنية: ضرورة تصميم وتطبيق برامج تدريبية متخصصة ومستمرة للمهندسين والفنيين في مجال "تحليل البيانات الضخمة للمعدات" والتعامل مع خوارزميات التنبؤ بالأعطال، لسد الفجوة المهارية الحالية وتحقيق الاستفادة القصوى من الأنظمة المتاحة.
2. دعم المنشآت المتوسطة والصغيرة تقنياً: توفير مبادرات تشجيعية واستشارية من قبل الهيئة الملكية للجبيل وينبع لتمكين الشركات الصغيرة والمتوسطة من تبني حلول الصيانة التنبؤية منخفضة التكلفة (مثل الحوسبة السحابية للصيانة ومستشعرات الإنترنت الأشياء الاقتصادية)، رغبةً في تقليص الفجوة بينها وبين المنشآت الكبرى.

3. تعزيز الربط البرمجي الشامل: العمل على تطوير الربط والدمج الكامل بين

مستشعرات الفحص الفوري للمعدات وأنظمة التخطيط الإداري والمخزني (ERP

Systems)، لضمان جدولة أوامر الصيانة وتأمين قطع الغيار المطلوبة تلقائياً

وبأقل كلفة تخزينية ممكنة.

4. توثيق وحوسبة دراسات الجدوى الاقتصادية: قيام إدارات الصيانة والمالية

بالمنشآت بعقد مقارنات دورية موثقة بين تكاليف الاستثمار في أنظمة الصيانة

التنبؤية وحجم الوفورات الفعلية المتحققة في خفض ساعات التوقف وعمر

المعدات، وذلك لتقديم تقارير جدوى تدعم اتخاذ القرار الاستثماري التقني مستقبلاً.

5. إنشاء قاعدة بيانات موحدة للأعطال الشائعة: حث المنشآت الصناعية بالجيبيل

على التعاون المعرفي لإنشاء سجلات رقمية موحدة وعامة لأنماط أعطال المعدات

المتشابهة في البيئة الصحراوية والساحلية، مما يسهم في رفع دقة النماذج التنبؤية

التي تعتمد عليها برمجيات الصيانة.

قائمة مراجع

أولاً: المراجع العربية

1. إبراهيم، عبد الحكيم. (1990). الكفاية الإنتاجية في الصناعة العربية. مجلة التنمية الصناعية العربية، (9).
2. بود خوش، عثمان. (2008). تخفيض التكاليف كمدخل لدعم الميزة التنافسية في المؤسسات الصناعية الجزائرية [مذكرة ماجستير غير منشورة]. جامعة سكيكدة، الجزائر.
3. توفيق، عبد الرحمن. (2003). إدارة الصيانة وتشغيل المرافق (ط. 3). مركز الخبرات المهنية للإدارة.
4. خطاب، عايدة. (2001). العولمة وإدارة الموارد البشرية. دار الفكر العربي.
5. شلفون، عماد. (2021). محاضرات مادة الجودة والوثوقية والصيانة. الجامعة الافتراضية السورية.
6. شنوفي، نور الدين. (2005). تفعيل نظام تقييم أداء العامل في المؤسسة العمومية الاقتصادية [أطروحة دكتوراه غير منشورة]. جامعة الجزائر 3.
7. طوايبي، أحمد. (2003). المحاسبة التحليلية كأداة لتخطيط ومراقبة الإنتاج [مذكرة ماجستير غير منشورة]. جامعة الجزائر.

8. السلمي، علي. (1994). الإدارة الإنتاجية. مكتبة الإدارة الجديدة.
9. الشرقاوي، علي. (1995). إدارة النشاط الإنتاجي. الدار الجامعية.
10. علي، تغريد. (2017). تحليل وتصميم منهجية لصيانة تنبؤية وقائية في محطة حاويات مرفأ اللاذقية الدولية [أطروحة دكتوراه غير منشورة]. كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين.
11. عليان، عبد الرحمن. (1998). رفع الكفاءة الإنتاجية في ظل المتغيرات العالمية. مكتبة عين شمس.

ثانياً: المراجع الأجنبية

1. British Standards Institute. (2010). Maintenance Terminology .British Standards Institute.
2. Colin, D. (2001). Management accounting for business decisions .Thomson Learning.
3. Doss, P. (2019) .Design and Implementation of Predictive Maintenance in Mechatronic System [Diploma Thesis]. University of Ostrava.
4. Evgrafov, B. (1970) .Systèmes de gestion de la production . Édition Paris Sirey.

5. Fitch, E. C. (1992) .Proactive Maintenance for Mechanical Systems: An Activity Conducted to Detect and Correct Root Cause Aberrations of Failure .Elsevier Advanced Technology.
6. Hashemian, H. M. (2011). State-of-the-art predictive maintenance techniques .IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement.236–226 ,(1)60 ,
7. Khazraei, K & ,.Deuse, J. (2011). A strategic standpoint on maintenance taxonomy .Journal of Facilities Management , .113–96 ,(2)9
8. Khemakhem, A. (1993) .La dynamique de contrôle de gestion .Édition Dunod.
9. Kiangala, K. S & ,.Wang, Z. (2018). Initiating predictive maintenance for a conveyor motor in a bottling plant using Industry 4.0 concepts .The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.
10. Lee, J & ,.Scott, L. W. (2006). Zero-breakdown machines and systems: Productivity needs for next–

generation maintenance. In Engineering Assets Management (pp. 31–43). Springer.

11. MaintainX. (n.d.) .What is Maintenance .?
<https://www.getmaintainx.com/>
12. Milojevic, M & ,.Nassah, F. (2018) .Digital Industrial Revolution With Predictive Maintenance .CXP Group.
13. Mobley, R. K. (2002) .An Introduction to Predictive Maintenance2) nd ed .(.Elsevier Science.
14. Mobley, R. K. (2004) .Maintenance Fundamentals2) nd ed .(.Elsevier Inc.
15. Mobley, R. K., Higgins, L. R & ,.Wikoff, D. J. (2008) . Maintenance Engineering Handbook7) th ed .(.McGraw–Hill.
16. National Communication System Technology and Standards Division. (1996) .Telecommunication: Glossary of Telecommunication Terms .General Services Administration Information Technology Service.

17. Oxford University Press. (n.d.). Maintenance. In Oxford Learner's Dictionaries .

<https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/maintenance>
18. Parida, A & ,Kumar, U. (2009) .Maintenance Productivity and Performance Measurement .Springer.
19. Poor, P., Zenisek, D & ,Basl, J. (2019). Historical overview of maintenance management .Industrial Engineering and Operations Management.
20. Ran, Y., Zhou, X., Lin, P., Wen, Y & ,Deng, R. (2019). A survey of predictive maintenance: Systems, purposes and approaches .IEEE Communications Surveys & Tutorials.
21. Shagluf, A., Longstaff, A. P & ,Fletcher, S. (2010) . Maintenance Strategies to Reduce Downtime Due to Machine Positional Errors .Center for Precision Technologies, University of Huddersfield.

22. Sullivan, G. P., Pugh, R., Melendez, A. P & ,.Hunt, W. D. (2002) .Operations & Maintenance Best Practices: A Guide to Achieving Operational Efficiency .Pacific Northwest National Laboratory.
23. Sumanth, D. J. (1984) .Productivity engineering and management .McGraw–Hill Book Company.
24. Thomas, D. S & ,.Weiss, B. A. (2020) .Economics of Manufacturing Machinery Maintenance .National Institute of Standards and Technology.
25. Trojan, F & ,.Marcal, R. F. (2017). Proposal of maintenance–types classification to clarify maintenance concepts in production and operations management .Journal of Business and Economics.572–560 ,(7)8 ,
26. UpKeep. (n.d.) .Choosing the Right Maintenance Strategy .<https://www.upkeep.com/blog/choosing-the-right-maintenance-strategy>

27. Wuest, T & ,.Sakib, N. (2018). Challenges and Opportunities of Condition-based Predictive Maintenance: A Review .Elsevier B.V.

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى التعرف على واقع تطبيق الصيانة التنبؤية وأثرها في خفض التكاليف التشغيلية بالمنشآت الصناعية بمدينة الجبيل الصناعية، وذلك من خلال تبني المنهج الوصفي التحليلي وتطبيق استبانة كأداة رئيسة لجمع البيانات على عينة عشوائية بسيطة قوامها 100 مدير ومسؤول في تلك المنشآت. وقد أظهرت نتائج التحليل الإحصائي مستوى تطبيق مرتفع للصيانة التنبؤية بمتوسط حسابي بلغ (3.85)، مع وجود أثر إيجابي طردي قوي ذي دلالة إحصائية يربط بين هذا التطبيق وخفض التكاليف التشغيلية بنسبة تفسيرية بلغت (52.4%)، لاسيما في تقليص ساعات التوقف الطارئة وزيادة العمر الافتراضي للمعدات الرأس مالية، كما كشفت النتائج عن وجود فروق جوهرية في مستوى تبني هذه التقنيات لصالح المنشآت الصناعية الكبرى مقارنة بالمتوسطة والصغيرة؛ وبناءً على ذلك أوصت الدراسة بضرورة تكثيف البرامج التدريبية المتخصصة لتأهيل الكوادر البشرية في تحليل البيانات الضخمة للمعدات، وتقديم مبادرات دعم وحوافز لتمكين المنشآت الأصغر حجماً من تبني حلول الصيانة الرقمية بفاعلية.

الملاحق

استبيان دراسة: أثر الصيانة التنبؤية على التكاليف التشغيلية في المنشآت الصناعية

بالجبيل

أولاً: الهدف العام للاستبيان (General Goal)

يهدف هذا الاستبيان إلى قياس واقع تطبيق تقنيات وأساليب الصيانة التنبؤية في المنشآت الصناعية بمدينة الجبيل الصناعية، وتحديد مدى أثر هذا التطبيق على خفض وتعديل التكاليف التشغيلية (التي تشمل: تكاليف قطع الغيار، تقليل ساعات التوقف غير المخطط لها، وتحسين كفاءة الإنتاجية العامة)، وذلك للخروج بتوصيات تدعم اتخاذ القرار وتطوير الأداء الهندسي والمالي في القطاع الصناعي.

ثانياً: أسئلة الاستبيان (Questionnaire Items)

الجزء الأول: البيانات الأولية والديموغرافية (Demographic Data)

يرجى تحديد الخيار المناسب الذي يصف وضعك الوظيفي ومنشأتك:

1. المستوى الإداري:

○ [] مدير مصنع (Plant Manager)

○ [] مدير صيانة (Maintenance Manager)

○ [] مدير عمليات (Operations Manager)

○ [] مدير مالي (Financial Manager)

2. سنوات الخبرة في المجال الصناعي:

○ [] أقل من 5 سنوات

○ [] من 5 إلى 10 سنوات

○ [] من 11 إلى 15 سنة

○ [] أكثر من 15 سنة

3. نوع النشاط الصناعي الرئيسي للمنشأة:

○ [] صناعات بتروكيماوية

○ [] صناعات معدنية (معادن وحديد)

○ [] صناعات تحويلية أخرى

4. حجم المنشأة (بناءً على عدد الموظفين):

○ [] منشأة صغيرة (أقل من 50 موظفاً)

○ [] منشأة متوسطة (50 - 249 موظفاً)

○ [] منشأة كبيرة (250 موظفاً فأكثر)

الجزء الثاني: واقع تطبيق الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance)

(Implementation)

يرجى تحديد مدى موافقتك على العبارات التالية المرتبطة بواقع العمل في منشأتكم:

(مقياس ليكرت الخماسي: موافق بشدة = 5، موافق = 4، محايد = 3، غير موافق = 2،

غير موافق بشدة = 1)

م	العبرة	موافق بشدة	موافق	محايد	غير موافق	غير موافق بشدة
1	تتوفر في منشأتنا الأجهزة والتقنيات الحديثة اللازمة للصيانة التنبؤية (مثل: أجهزة قياس الاهتزازات، التصوير الحراري، إلخ).	[]	[]	[]	[]	[]
2	تحرص إدارة المنشأة على تقديم برامج تدريبية	[]	[]	[]	[]	[]

					متخصصة ومستمرة للكوادر الفنية حول تقنيات الصيانة التنبؤية.	
					نعتمد بشكل أساسي على تحليل البيانات التاريخية واللحظية للمعدات للتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها.	3
					يوجد تنسيق فعال ونظام ربط رقمي متكامل بين فريق صيانة المعدات وفريق تحليل البيانات في المنشأة.	4

الجزء الثالث: أثر الصيانة التنبؤية على التكاليف التشغيلية (Impact on

(Operational Costs

يرجى تحديد مدى موافقتك على العبارات التالية التي تصف أثر تطبيق الصيانة التنبؤية

على الجوانب المالية والتشغيلية:

(مقياس ليكرت الخماسي: موافق بشدة = 5، موافق = 4، محايد = 3، غير موافق = 2،

غير موافق بشدة = 1)

م	العبرة	موافق بشدة	موافق	محايد	غير موافق	غير موافق بشدة
1	يساهم تطبيق الصيانة التنبؤية في خفض تكاليف شراء وتخزين قطع الغيار غير الضرورية (الحد من الهدر).	[]	[]	[]	[]	[]
2	نلاحظ انخفاضاً ملموساً في ساعات توقف الإنتاج	[]	[]	[]	[]	[]

					غير المخطط لها Unplanned) (Downtime نتيجة الكشف المبكر عن الأعطال.	
					يساهم التشخيص التنبئي المبكر في إطالة العمر الاقتصادي للمعدات الرأسمالية وتقليل تكاليف استبدالها الإجمالية.	3
					ينعكس خفض تكاليف الصيانة الطارئة إيجاباً على زيادة ربحية وإنتاجية المنشأة الصناعية بشكل عام.	4

University:

Midocean University

**College:**

College of Management

Department / Major:

Master of Project Management (MPM)

Research Title:

Predictive Maintenance Strategies and Their Role in Reducing Operational Costs: An Exploratory Study of Managers' Perspectives in Industrial Facilities in Jubail Industrial City

Prepared by:

Nawaf Adel Al-Harbi

Supervised by:

Dr. Al-Faisal Abdulhamid Mohamed

Defayz Ali Al-Jarad

Academic Year:

2026