

جامعة ميدأوشن



كلية الإدارة

ماجستير ادارة الاعمال

أثر تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال غير المخططة في

معدات المناجم: دراسة ميدانية في الشركة السعودية للتعدين

(معادن).

إعداد الطالب/

عبدالله علي عوضة عبوش الغامدي

الرقم الجامعي /

٢٥٢٠٠٣١٣

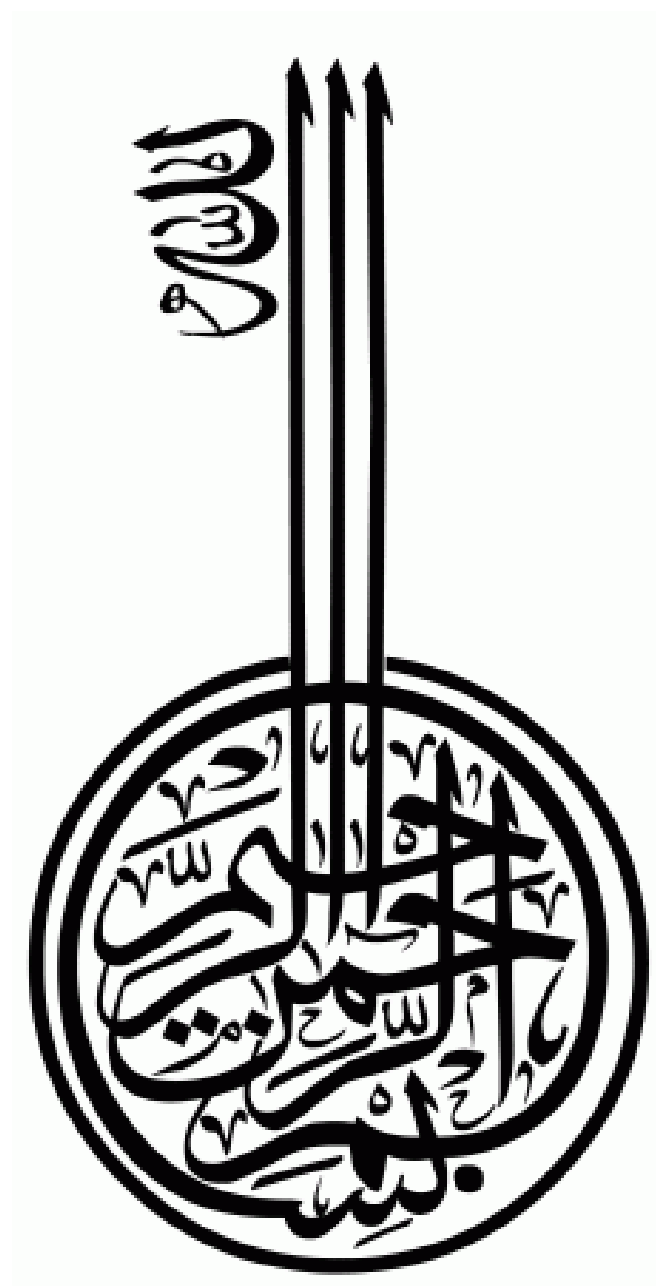
إشراف/

د. الفيصل عبد الحميد محمد حسن

د. فايز جراد

العام الدراسي:

١٤٤٧ - ٢٠٢٦



إهداء

إلى من كان لهم الفضل بعد الله تعالى في تحقيق هذا العمل العلمي،

إلى والديَّ العزيزين رمز التضحية والعطاء،

إلى أساتذتي الأفاضل الذين لم يخلوا بتوجيهاتهم ونصحتهم،

إلى زملائي الذين شاركوني رحلة البحث بكل تفاصيلها،

إلى كل من علّمني أن الصبر طريق النجاح،

وأن الطموح لا يقف عند حدود،

إلى من ألهموني الإصرار والسعي نحو الأفضل،

أهدي هذا العمل المتواضع عربون تقدير وامتنان،

راجيةً أن يكون لبنة في بناء العلم،

وسبيلًا لخدمة المجتمع والوطن.

شكر وقدر

ليس بعد التمام أجمل من الحمد، فالحمد لله والشكر له كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه وكما ينبغي لجزيل فضله وعظيم إحسانه على ما أنعم به على من إتمام هذا البحث.

ثم أنه لا يسعني الا أن أشيد بالفضل وأقر بالمعروف لكل من ساهم في إنجاز هذا البحث.

كل الشكر للجهات التي دعمتني وساعدتني وخصتني بالتوجيه والتصويب لإتمام بحثي على الوجه الصحيح.

كما أتقدم بالشكر لمن كان لتوجيهاتهم الدور الكبير في إنجاز هذا المشروع وكل من مد لي يد العون من قريب وبعيد ولو بدعوة بظهر الغيب، بارك الله فيهم جميعاً وجزاهم الله عني الجزاء الأوفى وأسأل الله أن ينفع بهذا البحث على قدر العناء فيه وأن يجعله خالصاً لوجهه الكريم إنه على ذلك لقادر.

المستخلص

تهدف هذه الدراسة إلى التعرف على أثر تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية بأبعادها المختلفة (تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية، وبرامج الفحص والمعاينة الدورية، وتدريب وتأهيل الكوادر الفنية، واستخدام التقنيات الحديثة كأنظمة المراقبة الذكية وإنترنت الأشياء، وإدارة قطع الغيار وتوافرها) على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات مناجم الشركة السعودية للتعدين (معادن). واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، حيث صُممت استبانة مكونة من (٣٢) فقرة وُزعت على عينة طبقية عشوائية بلغت (٢٠٦) مفردة من العاملين في أقسام الصيانة، والتشغيل، والهندسة، والإدارة الفنية. وقد عُولجت البيانات باستخدام برنامج (SPSS, Ver.26)، وتضمنت الأساليب الإحصائية المتوسطة الحسابية، والانحرافات المعيارية، ومعامل ارتباط بيرسون، وتحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد. وأظهرت النتائج وجود أثر ذي دلالة إحصائية عند مستوى $(\alpha \leq 0.05)$ لأنظمة الصيانة الوقائية مجتمعة على تقليل الأعطال غير المخططة، بمعامل ارتباط $(R = 0.874)$ ومعامل تحديد $(R^2 = 0.764)$ كما تبين أن بُعد استخدام التقنيات الحديثة يمتلك أقوى ارتباط فردي بالمتغير التابع $(r = 0.713)$ ، في حين جاء مستوى تطبيقه الفعلي متوسطاً (٣,٦٠). وأوصت الدراسة بتسريع تبني التقنيات الذكية وتكثيف برامج التدريب الفني المتخصص، وتعزيز التكامل بين أبعاد المنظومة الصيانية لتحقيق أعلى مستويات الموثوقية التشغيلية.

الكلمات المفتاحية: الصيانة الوقائية، الأعطال غير المخططة، إنترنت الأشياء، الموثوقية التشغيلية،

الشركة السعودية للتعدين (معادن).

قائمة المحتويات

أ.....	بسم الله الرحمن الرحيم
ب.....	الإهداء
ج.....	الشكر والتقدير
د.....	المستخلص
ه.....	قائمة المحتويات
ح.....	قائمة الجداول
١.....	الفصل الأول: الإطار العام للدراسة
١.....	١,١ المقدمة
٢.....	٢,١ مشكلة الدراسة
٤.....	٣,١ أهمية الدراسة:
٥.....	٤,١ أهداف الدراسة:
٦.....	٥,١ تساؤلات الدراسة
٧.....	٦,١ فروض الدراسة:
٨.....	٧,١ الدراسات السابقة:
١٤.....	٨,١ الفجوة البحثية:
١٥.....	٩,١ المنطلقات النظرية للدراسة:
١٩.....	١٠,١ المنهجية وطرق البحث:
٢٢.....	١١,١ الأساليب الإحصائية المستخدمة
٢٣.....	١٢,١ حدود الدراسة:
٢٤.....	الفصل الثاني: الإطار النظري
٢٤.....	المبحث الأول: أنظمة الصيانة الوقائية
٢٤.....	١,١,٢ تمهيد
٢٤.....	٢,١,٢ مفهوم أنظمة الصيانة الوقائية

٢٧	٣,١,٢ أهمية أنظمة الصيانة الوقائية.....
٢٩	٤,١,٢ أهداف أنظمة الصيانة الوقائية.....
٣٠	٥,١,٢ أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية.....
٣٦	٦,١,٢ استراتيجيات تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية.....
٣٩	٧,١,٢ خلاصة المبحث الأول.....
٤٠	المبحث الثاني: تقليل الأعطال غير المخططة.....
٤٠	١,٢,٢ تمهيد.....
٤٠	٢,٢,٢ مفهوم الأعطال غير المخططة وتقليلها.....
٤٣	٣,٢,٢ أهمية تقليل الأعطال غير المخططة.....
٤٥	٤,٢,٢ أهداف تقليل الأعطال غير المخططة.....
٤٦	٥,٢,٢ أبعاد تقليل الأعطال غير المخططة.....
٥٣	٦,٢,٢ استراتيجيات تقليل الأعطال غير المخططة.....
٥٦	الفصل الثالث: منهجية الدراسة.....
٥٦	١,٣ تمهيد.....
٥٦	٢,٣ منهج الدراسة.....
٥٦	٣,٣ مجتمع الدراسة وعينتها.....
٥٧	٤,٣ عينة الدراسة:.....
٥٨	٥,٣ أداة الدراسة.....
٦٠	٦,٣ صدق أداة الدراسة.....
٦١	٧,٣ ثبات أداة الدراسة.....
٦٢	٨,٣ مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة.....
٦٤	٩,٣ الأساليب الإحصائية المستخدمة.....
٦٦	الفصل الرابع: تحليل البيانات واختبار الفرضيات.....
٦٦	١,٤ تحليل الخصائص الديموغرافية لأفراد عينة الدراسة.....
٦٩	٢,٤ التحليل الوصفي لمتغيرات الدراسة.....

٧٩	اختبار فرضيات الدراسة.
٨٨	الفصل الخامس: النتائج والتوصيات
٨٨	١,٥ نتائج الدراسة.
٩١	٢,٥ توصيات الدراسة.
٩٣	Abstract
٩٤	المراجع
٩٤	أولاً: المراجع العربية.
٩٥	ثانياً: المراجع الأجنبية.
٩٨	الملاحق
٩٩	استمارة استبيان

قائمة الجداول

رقم الجدول	اسم الجدول	رقم الصفحة
١.	جدول (١): توزيع الاستبانات على عينة الدراسة	٥٧
٢.	جدول (٢): توزيع فقرات المتغير المستقل على الأبعاد	٥٩
٣.	جدول (٣): توزيع فقرات المتغير التابع	٦٠
٤.	جدول (٤): معاملات ارتباط بيرسون بين أبعاد المتغير المستقل والدرجة الكلية للمتغير المستقل	٦١
٥.	جدول (٥): معاملات ألفا كرونباخ لأبعاد الدراسة والدرجة الكلية	٦١
٦.	جدول (٦): مصفوفة ارتباط بيرسون بين أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع (ن = ٢٠٦)	٦٢
٧.	جدول (٧): توزيع أفراد العينة وفقاً للنوع	٦٦
٨.	جدول (٨): توزيع أفراد العينة وفقاً للفئة العمرية	٦٧
٩.	جدول (٩): توزيع أفراد العينة وفقاً للمؤهل العلمي	٦٨
١٠.	جدول (١٠): توزيع أفراد العينة وفقاً لسنوات الخبرة	٦٩
١١.	جدول (١١): توزيع أفراد العينة وفقاً للقسم الوظيفي	٧٠
١٢.	جدول (١٢): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية	٧١

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
٧٢	جدول (١٣): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد برامج الفحص والمعاينة الدورية	١٣.
٧٤	جدول (١٤): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد تدريب وتأهيل الكوادر الفنية	١٤.
٧٥	جدول (١٥): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد استخدام التقنيات الحديثة	١٥.
٧٦	جدول (١٦): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد إدارة قطع الغيار وتوافرها	١٦.
٧٧	جدول (١٧): ملخص المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لأبعاد المتغير المستقل	١٧.
٨٠	جدول (١٨): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المتغير التابع	١٨.
٨١	جدول (١٩): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال غير المخططة	١٩.
٨٢	جدول (٢٠): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال غير المخططة	٢٠.
٨٣	جدول (٢١): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر برامج الفحص والمعاينة الدورية على تقليل الأعطال غير المخططة	٢١.
٨٤	جدول (٢٢): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر تدريب وتأهيل الكوادر الفنية على تقليل الأعطال غير المخططة	٢٢.

رقم الصفحة	اسم الجدول	رقم الجدول
٨٥	جدول (٢٣): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر استخدام التقنيات الحديثة على تقليل الأعطال غير المخططة	٢٣.
٨٧	جدول (٢٤): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر إدارة قطع الغيار وتوافرها على تقليل الأعطال غير المخططة	٢٤.

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

١,١ المقدمة

تُعد الصيانة بمفهومها الحديث أحد الأعمدة الرئيسة لضمان استمرارية العمليات الصناعية والإنتاجية، إذ لم تعد تقتصر على إصلاح الأعطال بعد وقوعها، بل أصبحت نشاطًا استراتيجيًا متكاملًا يهدف إلى المحافظة على كفاءة المعدات، وإطالة عمرها التشغيلي، وتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد المتاحة، وقد تطور مفهوم الصيانة في العقود الأخيرة من "عملية إصلاح" إلى "نظام إدارة" يعتمد على أسس علمية وفنية دقيقة، تسهم في تحقيق استقرار الأداء التشغيلي وتقليل زمن التوقف، وتُعد الصيانة الوقائية من أهم صور هذا التطور، كونها تُنفذ وفق خطط زمنية مسبقة للحد من الأعطال المفاجئة، ما يعزز استمرارية الإنتاج وكفاءة التشغيل. [Gomes et al., 2023]

لقد أصبح تطبيق الصيانة الوقائية ضرورة ملحة في ظل الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) وما صاحبها من تطور في التقنيات الرقمية والأنظمة الذكية. فالصناعات الحديثة تعتمد اليوم على أنظمة مترابطة تُدار من خلال أجهزة استشعار وشبكات إنترنت الأشياء (IoT)، تتيح مراقبة حالة المعدات في الزمن الحقيقي والتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها، وهذه التحولات التقنية أسهمت في تحويل الصيانة من نمطها التقليدي إلى منظومة ذكية قائمة على البيانات والتحليل المستمر، مما جعلها أداة فاعلة في تحسين الكفاءة الكلية للمعدات (OEE) وتقليل فترات التوقف غير المخطط لها. [Novarika et al., 2024]

وفي ظل التنافس الصناعي العالمي، أصبح خفض التكاليف التشغيلية وتحسين الموثوقية التشغيلية هدفًا استراتيجيًا تسعى إليه المؤسسات، وتُعد الصيانة الوقائية من أبرز الأدوات التي تمكن المنشآت من تحقيق هذا الهدف، إذ تعمل على تفادي الأعطال المفاجئة التي تسبب خسائر إنتاجية ومادية كبيرة، وأن تطبيق الصيانة الوقائية في شركة صناعية إندونيسية أدى إلى رفع موثوقية المكونات الميكانيكية إلى أكثر من ٨٥٪، وخفض تكاليف الصيانة بنسبة تجاوزت ٧٦٪ خلال ثلاث سنوات، مما يبرز الأثر الاقتصادي الإيجابي لاعتماد هذه الأنظمة في بيئات التشغيل الصناعية. (Febriani et al., 2025)

إن البعد الإداري والمهني يشكل ركيزة أساسية في فعالية أنظمة الصيانة الوقائية، فقد أوضحت دراسة (Castillo Correa (2021 أن اعتماد خطة صيانة منتظمة، مدعومة ببرامج تدريب وتطبيق منهجية (5S)، يؤدي إلى تحسين كفاءة الخدمات ورفع مستوى رضا العملاء في المؤسسات الصناعية، ويُستفاد من ذلك أن نجاح الصيانة الوقائية لا يرتبط فقط بالأدوات والمعدات، بل أيضاً بتأهيل الكوادر البشرية وتنمية ثقافة الصيانة داخل المؤسسة.

من هنا تنبع أهمية هذه الدراسة التي تسعى إلى تحليل أثر تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية بأبعادها المختلفة على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات المناجم في شركة معادن. فالدراسة تسعى إلى بناء فهم علمي وتطبيقي يربط بين كفاءة أنظمة الصيانة الوقائية ونتائجها التشغيلية في بيئة التعدين، بما يسهم في سد فجوة معرفية قائمة في الأدبيات، ويعزز من تطبيق الممارسات الحديثة في إدارة الصيانة الصناعية.

٢,١ مشكلة الدراسة

تُعد الصيانة الوقائية من الركائز الأساسية في إدارة العمليات الصناعية الحديثة، إذ تمثل إستراتيجية فعّالة للحفاظ على كفاءة المعدات وضمان استمرارية الإنتاج دون توقفات غير متوقعة، ومع التطور الصناعي والتكنولوجي الكبير في منشآت التعدين، أصبحت الأعطال غير المخططة من أبرز التحديات التي تواجه الشركات الكبرى، لما تسببه من خسائر مادية وتشغيلية، وتراجع في الإنتاجية، وارتفاع في تكاليف الإصلاح والصيانة الطارئة، أن ضعف تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية يؤدي إلى انخفاض كبير في موثوقية المعدات الصناعية وزيادة عدد التوقفات المفاجئة، مما ينعكس سلباً على كفاءة العمليات الإنتاجية واستقرارها (Gomes et al., 2023).

تتميز بيئة التعدين بأنها بيئة تشغيلية قاسية تتعرض فيها المعدات لضغوط واهتزازات عالية وظروف بيئية قاسية، ما يجعلها أكثر عرضة للأعطال المفاجئة. وعلى الرغم من أهمية تطبيق أنظمة صيانة وقائية فعّالة، فإن العديد من شركات التعدين لا تزال تعتمد على أساليب الصيانة العلاجية أو التصحيحية بعد وقوع العطل، مما يؤدي إلى زيادة زمن التوقف وتكاليف التشغيل، وأشارت دراسة Novarika et al.

(2024) إلى أن ضعف تنظيم جداول الصيانة الوقائية في شركات المناولة والتشغيل يؤدي إلى انخفاض الكفاءة التشغيلية للمعدات بنسبة كبيرة ، فإن غياب نظام صيانة وقائية متكامل يؤدي إلى مشكلات مشابهة، بل أكثر حدة بسبب طبيعة المعدات الثقيلة المستخدمة في الاستخراج والمعالجة المعدنية.

أظهرت عدة دراسات سابقة أن تبني برامج الصيانة الوقائية يحقق نتائج ملموسة في تحسين الأداء الصناعي، مثل دراسة Febriani et al. (2025) التي توصلت إلى أن تطبيق الصيانة الوقائية في آلة Punching أدى إلى خفض تكاليف الصيانة بنسبة ٧٦,٤٪ ورفع موثوقية المكونات إلى نحو ٨٥٪. كما بينت دراسة Al-Duais et al. (2022) أن تحديد الفواصل الزمنية المثلى للصيانة الوقائية وفق توزيع ويبل (Weibull Distribution) يساهم في تحسين موثوقية الآلات وإطالة فترة التشغيل بين الأعطال.

ورغم التطور الصناعي في المملكة العربية السعودية، إلا أن العديد من المنشآت، وخاصة في مجال التعدين، لا تزال تواجه تحديات في تفعيل أنظمة الصيانة الوقائية بصورة علمية ومتكاملة، فبحسب دراسة القبي ونصر (2021) وبيك وآخرون (2024) ، فإن ضعف الاهتمام بتخطيط الصيانة وتدريب الكوادر الفنية يؤدي إلى ارتفاع معدلات الأعطال وانخفاض الكفاءة الإنتاجية في المنشآت الخدمية والصناعية. كما أوصت دراسة Thamma et al. (2025) بضرورة دمج التقنيات الحديثة مثل المتحكمات المبرمجة (PLC) وأنظمة المراقبة الذكية (HMI) في تطبيق الصيانة الوقائية للحد من الأخطاء البشرية وتحسين كفاءة الصيانة.

انطلاقاً من نتائج الدراسات السابقة، ومن خلال الملاحظة العملية لقطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، يتبين أن شركة معادن رغم ريادتها في قطاع التعدين تواجه تحديات في تقليل الأعطال غير المخططة الناجمة عن قصور في تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية بصورة منهجية ومتكاملة

وتتمثل مشكلة الدراسة في التساؤل الرئيس الآتي: ما أثر تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية بأبعادها المختلفة على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات المناجم بالشركة السعودية للتعدين (معادن)؟

٣,١ أهمية الدراسة:

تعتمد أهمية هذه الدراسة على إسهاماتها النظرية والتطبيقية فيما يلي:

أولاً: الأهمية العلمية:

- ✗ تسهم الدراسة في إثراء الأدبيات العلمية في مجال إدارة الصيانة الصناعية من خلال تناول أثر أنظمة الصيانة الوقائية في بيئة صناعية متقدمة مثل قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية.
- ✗ تقدم إطاراً نظرياً وتحليلياً يربط بين مفاهيم الصيانة الوقائية وأثرها على الكفاءة التشغيلية والموثوقية الإنتاجية للمعدات.
- ✗ تساعد على توسيع الفهم العلمي حول العلاقة بين الصيانة الوقائية وتقليل الأعطال غير المخططة، من خلال دراسة ميدانية مدعومة بالتحليل الإحصائي.
- ✗ تمثل مرجعاً علمياً للباحثين والدارسين في مجالات الهندسة الصناعية وإدارة الإنتاج والصيانة لإجراء دراسات مستقبلية مشابهة في قطاعات صناعية مختلفة.
- ✗ توضح أهمية التكامل بين التكنولوجيا الحديثة (مثل IoT والذكاء الصناعي) وممارسات الصيانة الوقائية في تحقيق أعلى مستويات الكفاءة التشغيلية.

ثانياً: الأهمية العملية:

- ✗ تمكن إدارة الشركة السعودية للتعدين (معادن) من وضع سياسات فعّالة لتطبيق الصيانة الوقائية تضمن تقليل الأعطال المفاجئة وتحسين استمرارية التشغيل في المناجم.
- ✗ تساعد في رفع كفاءة استغلال الموارد الإنتاجية من خلال تقليل فترات التوقف وتحسين جاهزية المعدات، مما ينعكس إيجاباً على إنتاجية الشركة وربحيته.
- ✗ تساهم في تقليل تكاليف الصيانة والإصلاح الطارئ من خلال التحول من أسلوب الصيانة العلاجية إلى الصيانة الوقائية المخططة.

✕ تقدم نموذجًا عمليًا يمكن تطبيقه وتعديله في شركات التعدين والصناعات الثقيلة الأخرى في المملكة العربية السعودية وخارجها.

✕ تعزز من قدرات الكوادر الفنية والإدارية من خلال تبني أساليب حديثة لإدارة الصيانة المعتمدة على البيانات والتقنيات الذكية.

✕ تدعم توجهات رؤية المملكة ٢٠٣٠ في تطوير القطاع الصناعي ورفع كفاءته التشغيلية عبر تطبيق أنظمة الإدارة الحديثة والتحول التقني في الصيانة والإنتاج.

٤,١ أهداف الدراسة:

هدفت هذه الدراسة إلى دراسة أثر تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية بأبعادها (تخطيط الصيانة الدورية، وجدولة عمليات الفحص والمعاينة، وإدارة قطع الغيار، وتدريب الكوادر الفنية، واستخدام التقنيات الحديثة في التنبؤ بالأعطال) على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات المناجم بالشركة السعودية للتعدين (معادن).

وتتفرع من هذا الهدف العام عدة أهداف فرعية، من أبرزها:

١. تحليل مدى فعالية برامج الصيانة الوقائية المطبقة في الشركة في الحد من التوقفات المفاجئة وتحسين جاهزية المعدات التشغيلية.

٢. دراسة العلاقة بين كفاءة تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية وبين معدل الأعطال غير المخططة في معدات المناجم.

٣. قياس أثر تطوير مهارات الكوادر الفنية وبرامج التدريب على تحسين تنفيذ خطط الصيانة وتقليل الأخطاء التشغيلية.

٤. تقييم دور استخدام التقنيات الحديثة مثل أنظمة المراقبة الذكية وإنترنت الأشياء (IoT) في التنبؤ بالأعطال وتحقيق استدامة تشغيل المعدات.

٥. تحديد أثر إدارة قطع الغيار والصيانة المسبقة في تقليل زمن التوقف وتقليل تكاليف الإصلاح الناتجة عن الأعطال المفاجئة.

٦. اقتراح نموذج تكاملي لتطبيق الصيانة الوقائية يضمن استمرارية كفاءة المعدات ورفع مستوى الموثوقية الإنتاجية في بيئة التعدين.

٥,١ تساؤلات الدراسة

ما أثر تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية بأبعادها المختلفة على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات المناجم بالشركة السعودية للتعدين (معادن)؟

الأسئلة الفرعية:

✗ ما مدى فعالية تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية في الحد من الأعطال غير المخططة بمعدات

المناجم؟

✗ إلى أي مدى تسهم برامج الفحص والمعاينة الدورية في رفع جاهزية المعدات التشغيلية وتقليل

التوقفات المفاجئة؟

✗ ما أثر تدريب وتأهيل الكوادر الفنية على تحسين تنفيذ عمليات الصيانة وتقليل الأخطاء التشغيلية؟

✗ كيف يؤثر استخدام التقنيات الحديثة) مثل أنظمة المراقبة الذكية وإنترنت الأشياء IoT) على التنبؤ

بالأعطال وتقليل الأعطال غير المخططة؟

✗ ما دور إدارة قطع الغيار وتوافرها في الوقت المناسب في تقليل زمن التوقف وتحسين استمرارية

التشغيل؟

✗ إلى أي مدى يؤدي التكامل بين عناصر نظام الصيانة الوقائية إلى تحسين الموثوقية التشغيلية

للمعدات وتقليل الأعطال المفاجئة في بيئة التعدين؟

٦,١ فروض الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراسة والإجابة على تساؤلاتها يمكن صياغة الفرضيات التالية:

هناك أثر ذو دلالة إحصائية لتطبيق أنظمة الصيانة الوقائية بأبعادها المختلفة على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات المناجم بالشركة السعودية للتعدين (معادن).

الفروض الفرعية

- يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتطبيق تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات المناجم.
- يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتطبيق برامج الفحص والمعاينة الدورية على رفع جاهزية المعدات وتقليل التوقفات المفاجئة.
- يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتدريب وتأهيل الكوادر الفنية على تحسين كفاءة تنفيذ عمليات الصيانة وتقليل الأعطال التشغيلية.
- يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام التقنيات الحديثة (مثل أنظمة المراقبة الذكية وإنترنت الأشياء IoT) على التنبؤ المبكر بالأعطال وتقليل الأعطال غير المخططة.
- يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لإدارة قطع الغيار وتوافرها في الوقت المناسب على تقليل زمن التوقف الناتج عن الأعطال.
- يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتكامل عناصر نظام الصيانة الوقائية على تحسين الموثوقية التشغيلية وتقليل الأعطال المفاجئة في بيئة التعدين.

٧,١ الدراسات السابقة:

➤ دراسة (Thamma et al., 2025)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تصميم نظام صيانة وقائية باستخدام المتحكمات المنطقية المبرمجة (PLC) وواجهة التشغيل والمراقبة (HMI) بأبعاده (الأتمتة الصناعية، تقليل الأخطاء البشرية، تقليل التوقفات التشغيلية، وتحسين كفاءة الصيانة) على رفع كفاءة أنظمة التشغيل والصيانة في المنشآت الصناعية.

استخدمت الدراسة المنهج التطبيقي التجريبي، وتكوّنت العينة من نظام تحكم صناعي نموذجي تم تصميمه ومحاكاته باستخدام برنامجي Step 7 وWinCC، مع ربط واجهة HMI بوحدة PLC عبر بروتوكولي MPI أو PROFIBUS.

وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تطبيق نظام الصيانة الوقائية المؤتمت باستخدام PLC وHMI يسهم بفاعلية في تحسين الأداء التشغيلي، وتقليل فترات التوقف غير المخطط لها، ورفع مستوى الموثوقية التشغيلية، من خلال أتمتة عمليات الصيانة الدورية ومتابعة حالة المعدات في الزمن الحقيقي.

وأوصت الدراسة باعتماد أنظمة التحكم الآلي وبرمجيات المحاكاة في تصميم وتنفيذ خطط الصيانة الوقائية داخل المنشآت الصناعية، وتدريب الكوادر الفنية على استخدام تقنيات PLC وHMI لتعزيز الكفاءة والإنتاجية وتقليل التكاليف التشغيلية...

➤ دراسة (Febriani et al., 2025)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تطبيق الصيانة الوقائية بأبعادها (تحديد فترات الصيانة، تحسين موثوقية المكونات، وتقليل تكاليف الأعطال) على خفض زمن التوقف وتكاليف الصيانة في ماكينة Punching في شركة PT. XYZ، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتكوّنت العينة من بيانات أداء الماكينة ومكونات الصيانة (bearing, spring, coil) خلال فترة ثلاث سنوات.

وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تطبيق الصيانة الوقائية أدى إلى رفع مستوى الموثوقية للمكونات إلى نحو ٨٥٪ وخفض تكاليف الصيانة بنسبة ٧٦,٤٢٣٪، من ١,٨٥١,٨٠٩,٨١٤ روبية إلى ٤٣٦,٦٠٨,٣٣٧ روبية خلال ثلاث سنوات.

وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد خطة صيانة وقائية دورية تعتمد على تحليل الموثوقية لكل مكون لضمان استمرارية الإنتاج وتقليل الأعطال المستقبلية.

➤ دراسة (El Khiate et al., 2025)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تطبيق الصيانة التنبؤية بأبعادها (استخدام تحليل بيانات المستشعرات في الوقت الحقيقي، التنبؤ بالأعطال المبكرة، وتحسين دورات الصيانة) على رفع موثوقية محركات الديزل وتقليل الأعطال المفاجئة، و استخدمت الدراسة المنهج التحليلي الكمي، حيث تم تحليل بيانات أعطال أسطول من محركات الديزل باستخدام اختبار Kolmogorov–Smirnov (K-S) لتحديد أفضل التوزيعات الاحتمالية وتقدير معالمها النسبية.

وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تطبيق الصيانة التنبؤية أدى إلى تحسين معالم توزيع Weibull، حيث انخفضت قيمة β من ١,٣١ إلى ١,٢٦ وارتفعت قيمة η من ٦٢٧,١٦ إلى ١٠٧٣,٩٧، مما يعكس انخفاض وتيرة الأعطال وإطالة دورة حياة المحرك.

وأوصت الدراسة باعتماد أنظمة المراقبة الذكية المبنية على تحليل البيانات اللحظي لتشخيص الأعطال مبكرًا، وتحسين تخطيط الصيانة بما يقلل التكاليف ويرفع كفاءة وأداء المحركات...

➤ دراسة (Novarika et al., 2024)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تقنيات الثورة الصناعية الرابعة (Industry 4.0) بأبعادها (إنترنت الأشياء IoT، الذكاء الاصطناعي AI، والتوائم الرقمية Digital Twins) على تحويل ممارسات الصيانة

الوقائية نحو نهج استباقي قائم على البيانات بما يساهم في تقليل التوقفات غير المخططة وتحسين فعالية المعدات التشغيلية، و استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي .

وتوصلت النتائج إلى أن الاعتماد على تقنيات إنترنت الأشياء لتحليل بيانات المعدات في الزمن الحقيقي، واستخدام الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالأعطال، وتطبيق التوائم الرقمية لمحاكاة الأداء التشغيلي أدى إلى رفع دقة عمليات الصيانة، وتقليل الأعطال المفاجئة، وزيادة الكفاءة الكلية للمعدات (OEE).

وأوصت الدراسة بضرورة تبني المؤسسات الصناعية إستراتيجيات رقمية متكاملة تدمج تقنيات الثورة الصناعية الرابعة ضمن أنظمة الصيانة الوقائية، مع تطوير الكفاءات البشرية والبنية التحتية الرقمية لضمان تحقيق أقصى استفادة من هذه التقنيات في تحسين الأداء وخفض زمن التوقف والتكاليف التشغيلية.

➤ دراسة (بيك وآخرون، ٢٠٢٤)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر أنشطة الصيانة بأبعادها (الوقائية، العلاجية، والمخططة) على رفع مستوى الفاعلية الإنتاجية في محطة كهرباء الخليج بمدينة سرت ، واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتكوّنت العينة من العاملين في محطة كهرباء الخليج سرت بمختلف التخصصات، حيث تم توزيع (١٤٨) استبانة واسترجاع (١١٦) استبانة صالحة للتحليل الإحصائي.

تم تحليل البيانات باستخدام برنامج التحليل الإحصائي (SPSS) بالاعتماد على الأساليب الإحصائية مثل المتوسطات الحسابية، والانحراف المعياري، ومعامل الارتباط والانحدار. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن أنشطة الصيانة لها أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى $(\alpha \leq 0.05)$ على الفاعلية الإنتاجية بالمحطة، حيث بلغ معامل التحديد $(R^2) = 0.552$ مما يشير إلى أن 55% من التغير في الفاعلية الإنتاجية يُعزى إلى أنشطة الصيانة، كما بلغت درجة التأثير $(B = 0.657)$ ، أي أن زيادة درجة واحدة في مستوى الاهتمام بالصيانة تؤدي إلى ارتفاع الفاعلية الإنتاجية بمقدار (0.657).

وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز برامج الصيانة الوقائية والمخططة، وتطوير مهارات العاملين في مجال الصيانة، وتخصيص موارد كافية لضمان استمرارية كفاءة التشغيل ورفع الإنتاجية في محطة كهرباء الخليج سرت.

➤ دراسة (Gomes et al., 2023)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تطبيق الصيانة الوقائية ومنهجية "انعدام الأعطال بالاعتماد على الحالة الأساسية" (Zero Breakdown by Base Condition) بأبعادها (التفتيش الدوري، التشحيم، الضبط المسبق، واستبدال المكونات قبل الأعطال، إضافة إلى المراقبة المستمرة لحالة المعدات) على رفع مستوى توافر وموثوقية المعدات الصناعية وتقليل الأعطال والتوقفات غير المخطط لها، واستخدمت الدراسة المنهج التطبيقي التحليلي، وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تطبيق برامج الصيانة الوقائية المنتظمة والمراقبة المستمرة لحالة المعدات باستخدام تقنيات تحليل الاهتزازات، والتصوير الحراري، وتحليل الزيت، أسهم بشكل ملحوظ في تقليل الأعطال غير المتوقعة وزيادة جاهزية المعدات التشغيلية.

وأوصت الدراسة باعتماد مزيج من الصيانة الوقائية والصيانة المعتمدة على الحالة كأساس لتحقيق أقصى درجات الموثوقية وتجنب التوقفات المفاجئة، مما يعزز كفاءة العمليات الإنتاجية ويخفض التكاليف التشغيلية..

➤ دراسة (Al-Duais et al., 2022)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر تحديد الفواصل الزمنية المثلى للصيانة الوقائية باستخدام الصيغ الرياضية المعتمدة على توزيع ويبل (Weibull Distribution) على تقليل زمن الأعطال المتوقع وزيادة موثوقية وكفاءة عمل الآلات، استخدمت الدراسة المنهج الكمي التحليلي، حيث تم اشتقاق دوال الموثوقية (Reliability Function)، ومعدل الأعطال (Failure Rate)، ومتوسط الزمن بين الأعطال (MTBF) قبل وبعد تنفيذ عمليات الصيانة الوقائية، وذلك باستخدام بيانات فعلية لعمليات الصيانة وزمن التوقف الناتج عن الأعطال وأزمنة الإصلاح والصيانة الوقائية.

وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تطبيق الصيانة الوقائية وفق الفواصل الزمنية المثلى المستخرجة من التوزيع الإحصائي وبيل يؤدي إلى تحسين موثوقية الآلات وزيادة متوسط فترة التشغيل بينها، مما يقلل من الأعطال المفاجئة ويعزز الأداء التشغيلي.

وأوصت الدراسة باعتماد النماذج الرياضية والتوزيعات الاحتمالية في تحديد جداول الصيانة الوقائية بدلاً من الاعتماد على الخبرة أو الجداول الزمنية الثابتة، لتحقيق أعلى كفاءة تشغيلية وأقل زمن توقف ممكن.

➤ دراسة (Castillo Correa, 2021)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر إدارة الصيانة الوقائية بأبعادها (خطة الصيانة المنتظمة، خطة التدريب، وتطبيق منهجية 5S) على رفع مستوى رضا العملاء في قطاع السيارات بمدينة بيورا استخدمت الدراسة المنهج الكمي التطبيقي ذو التصميم شبه التجريبي (Pre-experimental Design)، وغطت عينة مكونة من ٣٠ عميلاً إضافةً إلى بيانات الشركة قيد الدراسة، مع الاعتماد على الملاحظة المباشرة كأداة رئيسية لجمع البيانات وتحليلها.

وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن تطبيق إدارة الصيانة الوقائية ساهم بشكل واضح في تحسين كفاءة الخدمات المقدمة ورفع مستوى رضا العملاء، حيث أظهر التحليل الإحصائي باستخدام اختبار (t-student) أن الفروق في مستوى الرضا كانت ذات دلالة إحصائية وأقل من هامش الخطأ المعتمد، مما يؤكد فعالية تطبيق الصيانة الوقائية في تعزيز جودة الخدمة.

وأوصت الدراسة بضرورة تبني مؤسسات قطاع السيارات برامج صيانة وقائية متكاملة تشمل تدريب العاملين وتطبيق منهجيات التحسين المستمر مثل 5S لزيادة رضا العملاء واستدامة جودة الخدمة..

➤ دراسة (القبي ونصر، ٢٠٢١)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر أنشطة الصيانة بأبعادها (الصيانة الوقائية، الصيانة العلاجية، والصيانة المخططة) على رفع مستوى الكفاءة الإنتاجية في محطة كهرباء الخليج بمدينة سرت. استخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتكونت العينة من العاملين في محطة كهرباء الخليج سرت بمختلف التخصصات، حيث تم توزيع (١٤٨) استبانة واسترجاع (١١٦) استبانة صالحة للتحليل. واستخدم الباحثان الأساليب الإحصائية المناسبة مثل المتوسطات الحسابية، والانحراف المعياري، ومعامل الارتباط، والانحدار، وتم تحليل البيانات باستخدام البرنامج الإحصائي (SPSS).

وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن هناك علاقة ارتباط عالية وذات اتجاه طردي بين أنشطة الصيانة بشكل عام والكفاءة الإنتاجية، كما تبين أن العلاقة بين الصيانة الوقائية والكفاءة الإنتاجية علاقة متوسطة الارتباط وذات اتجاه طردي، وكذلك العلاقة بين الصيانة العلاجية والكفاءة الإنتاجية كانت متوسطة الارتباط وذات اتجاه طردي أيضاً.

وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز الاهتمام بأنشطة الصيانة المختلفة، خاصة الصيانة الوقائية والمخططة، لما لها من أثر مباشر في رفع كفاءة الأداء والإنتاج بالمحطة، إضافة إلى تطوير برامج تدريب العاملين وتحديث أنظمة الصيانة بما يواكب متطلبات التشغيل الحديثة.

➤ دراسة (Li et al., 2020)

هدفت الدراسة إلى التعرف على أثر استخدام أسلوب المحاكاة مونت كارلو (Monte Carlo Simulation) في تحليل عملية تغير أداء الأنظمة وتحديد الفاصل الزمني الأمثل للصيانة الوقائية (PM) من خلال أبعاده (تكلفة الصيانة لكل وحدة زمن، معدل الأعطال، التوافر الأدائي، والمرونة الاحتمالية للنظام)، و استخدمت الدراسة المنهج الكمي التحليلي.

وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن النموذج القائم على محاكاة مونت كارلو يتيح فهماً أدق لتغيرات الأداء المستمرة في الأنظمة متعددة الحالات (Continuous Multistate Systems)، ويساعد في تقليل معدل

الأعطال وتحسين توافر الأداء والمرونة التشغيلية للنظام. كما أظهرت دراسة حالة على عنقود حوسبي (Computer Cluster) فعالية النموذج في تحقيق تحسينات ملموسة في أداء النظام وكفاءة الصيانة.

وأوصت الدراسة باعتماد منهجيات التحليل الاحتمالي القائمة على المحاكاة في تصميم جداول الصيانة الوقائية، لضمان تحقيق أعلى كفاءة تشغيلية وأدنى تكلفة ممكنة على المدى الطويل.

٨,١ الفجوة البحثية:

تتفق غالبية الدراسات السابقة مثل دراسات (Febriani et al., 2025)، (Gomes et al., 2023)، و (Novarika et al., 2024) في تركيزها على أهمية الصيانة الوقائية كأداة استراتيجية لرفع كفاءة التشغيل وتقليل الأعطال المفاجئة والتكاليف التشغيلية. وقد أجمعت هذه الدراسات على أن تطبيق خطط الصيانة الوقائية بشكل منظم يؤدي إلى تحسين الموثوقية التشغيلية للمعدات ورفع معدل التوافر وتقليل زمن التوقف، وهي نتائج تتسق مع هدف الدراسة الحالية في قياس أثر أنظمة الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال غير المخططة في قطاع التعدين. كما يتوافق التوجه المنهجي بين معظم هذه الدراسات في استخدام المنهج الوصفي التحليلي وتحليل البيانات الكمية لاختبار العلاقات الإحصائية بين متغيرات الصيانة والأداء التشغيلي.

تختلف الدراسة الحالية عن أغلب الدراسات السابقة في بيئة البحث ومجال التطبيق؛ فبينما ركزت دراسات مثل (Castillo Correa, 2021) على قطاع السيارات، و (Gomes et al., 2023) على الصناعة التحويلية، و (Novarika et al., 2024) على معدات مناولة المواد، فإن الدراسة الحالية تتناول قطاع التعدين في المملكة العربية السعودية، وهو قطاع يتميز ببيئة تشغيلية قاسية تتطلب تطبيقات خاصة من أنظمة الصيانة الوقائية نظرًا لاستخدام معدات ثقيلة في ظروف بيئية وجغرافية صعبة.

تركز العديد من الدراسات السابقة على أبعاد محددة من الصيانة الوقائية مثل تخطيط الفترات المثلى (Al-Duais et al., 2022) أو استخدام النماذج الرياضية والتوزيعات الاحتمالية (Li et al., 2020)، أو دمج التقنيات الذكية مثل إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي (Novarika et al., 2024) أما الدراسة

الحالية فتميزت بتبني منظور شامل للصيانة الوقائية من خلال تناولها خمسة أبعاد رئيسية: تخطيط الصيانة، الفحص والمعاينة، تدريب الكوادر الفنية، إدارة قطع الغيار، واستخدام التقنيات الحديثة في التنبؤ بالأعطال. هذا التكامل في الأبعاد يهدف إلى بناء نموذج تفسيري متكامل يربط بين مكونات نظام الصيانة الوقائية وتأثيرها الجماعي على الأعطال غير المخططة، وهو ما لم تتناوله الدراسات السابقة بشكل شامل ومتزامن.

على الرغم من أن معظم الدراسات السابقة استخدمت الأسلوب الكمي التحليلي، فإنها تفاوتت في منهجية جمع البيانات ومستوى التحليل. فبعضها اعتمد على بيانات تشغيلية فعلية للآلات (مثل دراسة Febriani et al., ٢٠٢٥ و Al-Duais et al., 2022) بينما اعتمدت أخرى على دراسات حالة أو تصميمات شبه تجريبية. (Castillo Correa, 2021) أما الدراسة الحالية فتستخدم المنهج الوصفي التحليلي القائم على المسح الميداني والاستبانة الموجهة للعاملين في شركة معادن، مما يسمح بتحليل إدراكي وتطبيقي في آن واحد. من خلال تحليل أوجه الاتفاق والاختلاف، يمكن تحديد الفجوة البحثية الرئيسية في أن الدراسات السابقة لم تتناول بعمق العلاقة بين أنظمة الصيانة الوقائية وتقليل الأعطال غير المخططة في بيئة التعدين تحديداً، خاصة ضمن الشركات العربية والخليجية الكبرى مثل شركة معادن .

٩,١ المنطلقات النظرية للدراسة:

أولاً: مفهوم الصيانة وأهميتها في المؤسسات الصناعية

تُعد الصيانة من أهم العناصر الداعمة لاستمرارية النشاط الإنتاجي في المؤسسات الصناعية والخدمية، إذ تهدف إلى المحافظة على جاهزية المعدات والأجهزة وتقليل الأعطال المفاجئة التي قد تؤدي إلى توقف العملية الإنتاجية وتكبّد المؤسسة خسائر مادية كبيرة. ويُعرف مفهوم الصيانة بأنه "مجموعة الأنشطة المخططة والمنفذة للحفاظ على أداء المعدات في حالتها المثلى أو إعادتها إلى تلك الحالة عند حدوث خلل". وتشمل هذه الأنشطة عمليات الفحص، والتنظيف، والتزييت، والمعايرة، والإصلاح أو الاستبدال عند الضرورة.

تُعد الصيانة عنصراً أساسياً في تحقيق الموثوقية التشغيلية (Operational Reliability) وضمان الاستمرارية الإنتاجية. فالمعدات الصناعية، وخاصة في بيئات التعدين، تعمل في ظروف قاسية تشمل درجات حرارة مرتفعة، وضغوط تشغيل عالية، واحتكاك ميكانيكي مستمر، مما يجعل الأعطال غير المخططة أمراً محتملاً إن لم يتم تطبيق برامج صيانة فعالة. لذا، فإن اعتماد نظام صيانة متكامل يساهم في تقليل فترات التوقف وتحسين الإنتاجية الإجمالية للمنشأة.

ثانياً: مفهوم وأنواع الصيانة

تطورت مفاهيم الصيانة عبر العقود الماضية لتواكب التحولات التكنولوجية والتنافس الصناعي. وتنقسم الصيانة بوجه عام إلى عدة أنواع رئيسية:

١. الصيانة العلاجية: (Corrective Maintenance) وهي التي تُجرى بعد حدوث العطل، بهدف إصلاح الخلل وإعادة المعدة إلى العمل. ورغم بساطتها، إلا أنها تؤدي إلى توقفات غير مخططة وخسائر كبيرة في الإنتاجية.
٢. الصيانة الوقائية: (Preventive Maintenance) وهي محور هذه الدراسة، وتُعرف بأنها "مجموعة من الإجراءات الدورية المخططة مسبقاً، التي تُجرى بهدف منع الأعطال قبل وقوعها". وتشمل عمليات الفحص المنتظم، والتزييت، والمعايرة، واستبدال الأجزاء قبل نهاية عمرها التشغيلي المتوقع.
٣. الصيانة التنبؤية: (Predictive Maintenance) وهي تعتمد على تقنيات المراقبة الذكية وجمع البيانات باستخدام أجهزة الاستشعار، لتحليل الحالة الفعلية للمعدة والتنبؤ بموعد العطل قبل وقوعه.
٤. الصيانة الإنتاجية الشاملة: (Total Productive Maintenance - TPM) وهي فلسفة متكاملة تهدف إلى تحقيق "صفر أعطال" من خلال مشاركة جميع العاملين في المؤسسة في أنشطة الصيانة والتحسين المستمر.

ثالثاً: الصيانة الوقائية – المفهوم والخصائص

تمثل الصيانة الوقائية خطوة انتقالية من الأسلوب التقليدي (العلاجي) إلى الأسلوب الاستباقي في إدارة المعدات. فهي لا تنتظر حدوث العطل، بل تُخطط له مسبقاً لتجنبه. وتتميز الصيانة الوقائية بعدة خصائص رئيسية:

١. التخطيط المسبق: حيث يتم وضع جدول زمني دوري لعمليات الفحص والصيانة بناءً على ساعات التشغيل أو عدد الدورات الإنتاجية.
٢. الاستمرارية: فهي عملية مستمرة تتكرر بشكل منتظم لضمان الحفاظ على المعدات في أفضل حالاتها.
٣. الاعتماد على البيانات: إذ تعتمد على سجلات الأعطال السابقة وتاريخ أداء المعدات لتحديد الفترات المثلى للصيانة.
٤. تحقيق الكفاءة الاقتصادية: حيث تقلل من تكاليف الإصلاحات الكبيرة وتجنب المؤسسة خسائر التوقف المفاجئ.

رابعاً: أهمية تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية في بيئة التعدين

تُعد صناعة التعدين من أكثر الصناعات تعرضاً للأعطال التشغيلية نتيجة طبيعة عمل المعدات الثقيلة وظروف التشغيل القاسية. فمعدات المناجم تعمل تحت ضغط مرتفع، في بيئات تحتوي على الغبار والرطوبة والحرارة، مما يزيد من احتمالية تآكل المكونات الميكانيكية وتلف الأجزاء الحيوية. لذلك، فإن تطبيق نظام صيانة وقائية متكامل يساهم في:

- تقليل الأعطال غير المخططة التي تؤدي إلى توقف خطوط الإنتاج.
- رفع مستوى الموثوقية التشغيلية للمعدات.
- إطالة العمر الافتراضي للآلات والأجهزة.
- تحسين جودة الإنتاج نتيجة ثبات أداء المعدات.
- خفض تكاليف الصيانة الطارئة وزمن الإصلاح.

وفي حالة الشركة السعودية للتعدين (معادن)، التي تمتلك وتشغل مجموعة من المناجم ومصانع المعالجة المعدنية، فإن انتظام الصيانة الوقائية يُعد من العوامل الحاسمة لاستمرارية الإنتاج وتحقيق الكفاءة الاقتصادية.

خامساً: أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية

تشمل أنظمة الصيانة الوقائية عدة أبعاد مترابطة تشكل إطاراً تكاملياً لتحقيق هدفها الأساسي، ومن أبرز هذه الأبعاد:

١. تخطيط وجدولة الصيانة: تحديد مواعيد الصيانة بناءً على العمر التشغيلي للمعدات، وتحليل بيانات الأعطال السابقة، وتخصيص الموارد البشرية والفنية لتنفيذ الخطة دون التأثير على سير الإنتاج.
٢. الفحص والمعاينة الدورية: إجراء عمليات تفقد منتظمة للمعدات للكشف عن العلامات المبكرة للتآكل أو التلف. وتُعد هذه المرحلة بمثابة "الإنذار المبكر" الذي يمنع الأعطال المفاجئة.
٣. تدريب وتأهيل الكوادر الفنية: إذ تعتمد كفاءة الصيانة الوقائية على مهارة العاملين وقدرتهم على استخدام أدوات الفحص الحديثة وتفسير نتائجها بشكل صحيح.
٤. إدارة قطع الغيار: توافر قطع الغيار في الوقت المناسب يقلل زمن التوقف الناتج عن الصيانة، ويضمن استمرارية التشغيل دون تأخير.
٥. استخدام التقنيات الحديثة: مثل أنظمة المراقبة الذكية وإنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي، التي تُتيح تتبع أداء المعدات في الزمن الحقيقي والتنبؤ بالأعطال قبل وقوعها.

سادساً: الأعطال غير المخططة ومؤشرات

الأعطال غير المخططة (Unplanned Failures) هي تلك التي تحدث دون سابق إنذار وتسبب في توقف مفاجئ للعمليات الإنتاجية. ويُعد تقليلها أحد الأهداف الرئيسة لأنظمة الصيانة الوقائية. ومن أبرز مؤشرات الأعطال غير المخططة:

- ارتفاع معدل التوقف المفاجئ للمعدات.
- زيادة عدد أوامر الإصلاح الطارئة.
- انخفاض معدل التوافر التشغيلي (Availability).
- ارتفاع تكاليف الصيانة غير المجدولة.

إن ربط هذه المؤشرات ببرامج الصيانة الوقائية يساعد على تقييم فاعلية النظام وتحديد نقاط الضعف في إدارة الصيانة.

سابعاً: العلاقة بين الصيانة الوقائية والكفاءة التشغيلية

تشير الأدبيات إلى وجود علاقة طردية موجبة بين مستوى تطبيق الصيانة الوقائية وارتفاع الكفاءة التشغيلية للمؤسسة. فكلما كانت أنشطة الصيانة الوقائية أكثر تنظيماً واستباقية، كلما انخفضت الأعطال غير المخططة، وزادت موثوقية المعدات واستمرارية الإنتاج. كما أن الصيانة الوقائية تُسهم في تحقيق الكفاءة الاقتصادية من خلال تقليل تكاليف الصيانة الطارئة وتكاليف الخسارة الناتجة عن التوقف. وتُعد هذه العلاقة جوهرية في بيئة التعدين حيث ترتبط الإنتاجية ارتباطاً مباشراً باستمرارية المعدات العاملة في مواقع الاستخراج والمعالجة.

١٠,١ المنهجية وطرق البحث:

ستعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي باعتباره الأنسب لدراسة أثر تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات المناجم بالشركة السعودية للتعدين (معادن). سيتم استخدام هذا المنهج لوصف واقع ممارسات الصيانة الوقائية الحالية في الشركة، وتحليل مدى تأثيرها في رفع كفاءة التشغيل وتقليل التوقفات المفاجئة، كما سيتم جمع البيانات من خلال الاستبانة كأداة رئيسية، والتي ستُوجّه إلى العاملين في الإدارات الفنية والهندسية والصيانة داخل الشركة، وذلك بهدف الحصول على بيانات كمية يمكن تحليلها إحصائياً لقياس العلاقات بين المتغيرات المستقلة (أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية) والمتغير التابع (الأعطال غير المخططة).

وسيتّم لاحقًا استخدام الأساليب الإحصائية المناسبة لتحليل البيانات باستخدام برنامج SPSS، مثل المتوسطات الحسابية، والانحراف المعياري، وتحليل الارتباط والانحدار المتعدد لاختبار فروض الدراسة. كما سيتم التحقق من صدق وثبات أداة القياس من خلال معامل كرونباخ ألفا، والتأكد من ملاءمتها لقياس المتغيرات محل الدراسة، ويسعى إلى تقديم نموذج تطبيقي مقترح لتحسين فعالية أنظمة الصيانة الوقائية في قطاع التعدين، يهدف إلى تقليل الأعطال غير المخططة ورفع الكفاءة الإنتاجية بما يتوافق مع أفضل الممارسات الصناعية الحديثة.

١. مجتمع وعينة الدراسة

سيكوّن مجتمع الدراسة من جميع العاملين في الإدارات ذات العلاقة بالصيانة والتشغيل والإنتاج في الشركة السعودية للتعدّين (معادن)، وبالأخص العاملين في محطات ومواقع المناجم التي تعتمد بشكل مباشر على المعدات الثقيلة والأنظمة الميكانيكية والكهربائية في عملياتها التشغيلية، ويُقدّر عدد أفراد مجتمع الدراسة بنحو (420) موظفًا ما بين مهندسين وفنيين ومشرفين وإداريين يعملون ضمن فرق الصيانة والتشغيل في مواقع التعدين المختلفة التابعة للشركة داخل المملكة العربية السعودية.

أما عينة الدراسة فستُختار باستخدام الأسلوب العشوائي الطبقي (Stratified Random Sampling) لضمان تمثيل جميع الفئات الوظيفية ذات العلاقة بموضوع البحث. وستراوح حجم العينة بين (١٥٠-١٨٠) مفردة وفقًا لحجم المجتمع الكلي ونسبة الثقة المطلوبة في نتائج التحليل الإحصائي. وسيتم توزيع استبانة إلكترونية وورقية على أفراد العينة بعد التحقق من صدقها وثباتها، على أن تُسترجع الاستبانة الصالحة للتحليل فقط .

٢. أداة الدراسة

سيتم الاعتماد في هذه الدراسة على الاستبانة (Questionnaire) كأداة رئيسة لجمع البيانات الميدانية من أفراد عينة الدراسة، نظرًا لملاءمتها لطبيعة الموضوع وسهولة تطبيقها على فئة واسعة من العاملين في مواقع التعدين التابعة للشركة السعودية للتعدّين (معادن). وستُصمم الاستبانة بطريقة علمية

منظمة بهدف قياس أثر تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية بأبعادها المختلفة على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات المناجم.

ستتألف الاستبانة من جزأين رئيسيين:

- الجزء الأول: يتناول البيانات العامة للمشاركين مثل (الوظيفة، المؤهل العلمي، عدد سنوات الخبرة، القسم الذي يعمل فيه المشارك).
- الجزء الثاني: يحتوي على مجموعة من العبارات التي تقيس متغيرات الدراسة، موزعة على عدد من المحاور تمثل أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية وهي:
 ١. تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية.
 ٢. الفحص والمعاينة الدورية للمعدات.
 ٣. تدريب وتأهيل الكوادر الفنية.
 ٤. إدارة قطع الغيار وتوافرها.
 ٥. استخدام التقنيات الحديثة في التنبؤ بالأعطال. كما يتضمن محورًا خاصًا بقياس المتغير التابع وهو مستوى تقليل الأعطال غير المخططة.

وسيتم استخدام مقياس ليكرت الخماسي (Likert Scale) لتقدير استجابات المشاركين، بحيث تتراوح الإجابات من (١ = أعارض بشدة) إلى (٥ = أوافق بشدة). وستعرض أداة الدراسة على مجموعة من المحكمين الأكاديميين والمتخصصين في إدارة الصيانة والهندسة الصناعية للتحقق من صدق المحتوى، كما سيتم حساب معامل الثبات باستخدام اختبار كرونباخ ألفا (Cronbach's Alpha) لضمان اتساق الإجابات ودقة القياس.

١١,١ الأساليب الإحصائية المستخدمة

ستعتمد الدراسة على مجموعة من الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية بهدف تحليل البيانات واختبار فروض الدراسة، وذلك باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)، لما يوفره من دقة وكفاءة في معالجة البيانات وتحليلها.

أولاً: الأساليب الإحصائية الوصفية

سيتم استخدام الأساليب الوصفية بهدف وصف خصائص مجتمع وعينة الدراسة وتحليل استجابات المشاركين، وتشمل ما يلي:

- التكرارات والنسب المئوية لوصف البيانات الديموغرافية للمشاركين (الوظيفة، الخبرة، المؤهل العلمي، القسم).
- المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لقياس اتجاهات وآراء المبحوثين نحو متغيرات الدراسة وتحديد مستوى تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية في الشركة.
- معامل الالتواء والتفرطح (Skewness & Kurtosis) للتحقق من مدى اعتدال التوزيع الإحصائي للبيانات ومدى صلاحيتها لإجراء التحليل الاستدلالي.

ثانياً: الأساليب الإحصائية الاستدلالية

سيتم استخدام الأساليب الاستدلالية بغرض اختبار فروض الدراسة وبيان قوة واتجاه العلاقة بين المتغيرات المستقلة (أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية) والمتغير التابع (تقليل الأعطال غير المخططة)، وتشمل:

☒ معامل الارتباط بيرسون (Pearson Correlation Coefficient) لقياس درجة وقوة العلاقة بين المتغيرات.

✕ تحليل الانحدار البسيط والمتعدد (Simple & Multiple Regression Analysis) لاختبار أثر كل بُعد

من أبعاد الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال غير المخططة، وكذلك قياس الأثر الكلي للنموذج.

✕ اختبار (T-test) لمقارنة المتوسطات بين مجموعات مختلفة من العينة إذا اقتضى الأمر (مثل الفروق

حسب الخبرة أو التخصص).

✕ اختبار تحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA) لمعرفة ما إذا كانت هناك فروق ذات دلالة

إحصائية في استجابات المشاركين تبعاً للمتغيرات الديموغرافية.

✕ اختبار الثبات باستخدام معامل كرونباخ ألفا (Cronbach's Alpha) للتحقق من مدى اتساق

العبارات الداخلية في أداة الدراسة.

١٢,١ حدود الدراسة:

— حدود موضوعية: تركز الدراسة على أثر تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية بأبعادها (تخطيط الصيانة،

الفحص والمعاينة، تدريب الكوادر، إدارة قطع الغيار، والتقنيات الحديثة) على تقليل الأعطال غير

المخططة في معدات المناجم.

— حدود مكانية: تُجرى هذه الدراسة في الشركة السعودية للتعدين (معادن)، وبالتحديد في محطات

ومواقع المناجم التابعة لها داخل المملكة العربية السعودية.

— حدود زمنية: تتم الدراسة خلال العام الأكاديمي ٢٠٢٥ م.

الفصل الثاني: الإطار النظري

المبحث الأول: أنظمة الصيانة الوقائية

١,١,٢ تمهيد

تُعدّ أنظمة الصيانة الوقائية من الركائز الجوهرية التي تقوم عليها إدارة العمليات التشغيلية في المنظمات الصناعية المعاصرة، إذ تمثل المنهج الاستباقي الذي تتبنّاه المؤسسات لضمان استمرارية عمل معداتها وأصولها الإنتاجية بأعلى مستويات الكفاءة والموثوقية. وقد تصاعد الاهتمام بهذه الأنظمة بشكل لافت خلال العقود الأخيرة، وذلك نتيجة تزايد التعقيد التقني في بيئات التشغيل الصناعي، وارتفاع تكاليف التوقّف غير المخطط، فضلاً عن اشتداد المنافسة التي فرضت على المنظمات البحث عن آليات أكثر فاعلية للحفاظ على أصولها الإنتاجية وتعظيم العائد منها. وفي قطاع التعدين تحديداً، حيث تعمل المعدات الثقيلة في ظروف تشغيلية قاسية تتسم بالحرارة المرتفعة والأحمال الميكانيكية الكبيرة والبيئات الغبارية، تتضاعف الحاجة إلى منظومة صيانة وقائية مُحكمة قادرة على استشراف المشكلات التقنية قبل تفاقمها. ويتناول هذا المبحث مفهوم أنظمة الصيانة الوقائية من خلال استعراض التعريفات التي قدّمها الباحثون من مداخل نظرية متعددة، ثم ينتقل إلى بيان أهمية هذه الأنظمة وأهدافها، وأبعادها المعتمدة في الدراسة الحالية، وصولاً إلى الاستراتيجيات المرتبطة بتطبيقها في البيئات الصناعية، مع الاستناد إلى الأدبيات العربية والأجنبية ذات الصلة.

٢,١,٢ مفهوم أنظمة الصيانة الوقائية

شغل مفهوم الصيانة الوقائية حيزاً واسعاً في الأدبيات الأكاديمية والتطبيقية المتعلقة بإدارة العمليات وإدارة الأصول الصناعية، وقد تباينت التعريفات المقدّمة لهذا المفهوم تبعاً للزاوية التي ينظر منها كل باحث، سواء أكانت زاوية هندسية تقنية أم زاوية إدارية تنظيمية أم زاوية اقتصادية تكاليفية. وعلى الرغم من هذا التباين الظاهري، فإن ثمة خيطاً ناظماً يجمع بين هذه التعريفات يتمحور حول فكرة الاستباقية والتخطيط المسبق لمنع الأعطال قبل حدوثها.

فقد عرّف القبي ونصر (٢٠٢١) الصيانة الوقائية بوصفها مجموعة الأنشطة والإجراءات المخططة التي تُنفَّذ وفق جداول زمنية محددة بهدف المحافظة على المعدات في حالة تشغيلية سليمة والحيلولة دون وقوع الأعطال المفاجئة، وقد تناول الباحثان هذا المفهوم ضمن سياق محطات توليد الكهرباء حيث ترتبط استمرارية الإنتاج ارتباطاً وثيقاً بمدى انتظام أنشطة الصيانة وشمولها. ويتّضح من هذا التعريف التركيز على البُعد الزمني والجدولة بوصفهما عنصرين حاكمين في منظومة الصيانة الوقائية، إذ إن غياب التخطيط الزمني يُفقد الصيانة طابعها الوقائي ويُحيلها إلى مجرد استجابة تصحيحية لاحقة للعطل.

ومن منظور تقني بحث، قدّم بيك وآخرون (2024) تصوّراً للصيانة الوقائية يركّز على كونها منظومة تحكّم آلية قابلة للبرمجة تهدف إلى تنفيذ إجراءات الفحص والاستبدال والمعايرة بشكل دوري باستخدام أنظمة التحكم المنطقي القابل للبرمجة ووحدات التشغيل البينية، وذلك بغرض الابتعاد عن الأخطاء البشرية وتقليل التوقفات غير المخططة. ويُبرز هذا التعريف البعد التكنولوجي في مفهوم الصيانة الوقائية، حيث لم تعد مجرد إجراءات يدوية روتينية بل تحوّلت إلى أنظمة مؤتمتة تستثمر التطورات التقنية في التحكم الآلي لتحقيق أعلى درجات الدقة والاتساق في تنفيذ مهام الصيانة.

أما على صعيد الأدبيات الأجنبية، فقد تناول Gomes et al. (2023) مفهوم الصيانة الوقائية من خلال وصفها بأنها برنامج منهجي يتضمّن عمليات الفحص والتشخيص والضبط واستبدال المكونات قبل أن تصل إلى مرحلة العطل، وذلك وفق فترات صيانة مدروسة تراعي خصائص كل معدة ومتطلبات تشغيلها واستناداً إلى تحليل بيانات الأعطال السابقة. ويضيف هذا التعريف بعداً تحليلياً مهماً لمفهوم الصيانة الوقائية، إذ يربطها بتحليل البيانات التاريخية للأعطال كأساس لتحديد أنسب فترات التدخل الوقائي، وهو ما يمثل نقطة تلاقي بين الصيانة الوقائية التقليدية والصيانة التنبؤية الحديثة.

وقد وسّع Castillo Correa (2021) نطاق المفهوم ليشمل البعد الإداري والتنظيمي، حيث عرّف الصيانة الوقائية بأنها ممارسة إدارية تتضمّن تنفيذ مهام بشكل دوري ومخطّط لمنع حدوث الأعطال أو الانهيارات في المعدات والأنظمة، مع التأكيد على أن هذه الممارسة لا تقتصر على الجانب الفني بل تمتد

لتشمل تصميم خطط التدريب وتطبيق منهجيات التحسين المستمر. ويكشف هذا التعريف عن أن الصيانة الوقائية ليست نشاطاً فنياً منعزلاً بل هي منظومة إدارية متكاملة تستلزم تضافر عناصر التخطيط والتدريب والتحسين المستمر لتحقيق أهدافها.

ومن زاوية مختلفة تماماً، تناول مكّي (2018) مفهوم الصيانة الوقائية في سياق الحفاظ على المباني الأثرية، حيث عرّفها بأنها منهجية تهدف إلى الحفاظ على بقاء المبنى واستمراريته من خلال مجموعة من الإجراءات الوقائية المنتظمة التي تحول دون التدهور التدريجي. وعلى الرغم من أن هذا السياق يبتعد عن البيئة الصناعية التي تُعنى بها الدراسة الحالية، إلا أنه يؤكد على عالمية المبدأ الذي تقوم عليه الصيانة الوقائية وهو مبدأ الوقاية والاستباقية بصرف النظر عن طبيعة الأصل المراد صيانته.

كما طرح Thamma et al. (2025) رؤية معاصرة للصيانة الوقائية في إطار الثورة الصناعية الرابعة، حيث عرّفها بأنها مقارنة استباقية تستثمر تقنيات إنترنت الأشياء الصناعية والذكاء الاصطناعي والتوائم الرقمية للانتقال من نماذج الصيانة التفاعلية إلى نماذج أكثر استناداً إلى البيانات وأكثر استباقية وأنية. ويمثل هذا التعريف النقلة النوعية في فهم الصيانة الوقائية، إذ لم تعد مرتبطة فقط بالجدول الزمنية الثابتة بل أصبحت منظومة ديناميكية تتكيف مع الحالة الفعلية للمعدات في الزمن الحقيقي.

وفي السياق ذاته، أكد West et al. (2024) أن الصيانة الوقائية تمثل النهج الاستباقي الذي يعالج الأعطال البسيطة قبل أن تتصاعد إلى مشكلات كبرى، وأنها تشمل عمليات الفحص الدوري والتنظيف والتشحيم ومعايرة أنظمة التحكم الآلي في المباني، مع التشديد على أن هذا النهج يستثمر بشكل متزايد الاستراتيجيات القائمة على البيانات والتحليلات التنبؤية لاستشراف أعطال المعدات وتحسين جداول الصيانة.

وبالنظر إلى مجمل التعريفات المعروضة، يرى الباحث أن أنظمة الصيانة الوقائية يمكن تعريفها بأنها: منظومة إدارية وتقنية متكاملة تتضمن مجموعة من الأنشطة والإجراءات المخططة التي تُنفَّذ وفق جداول زمنية مدروسة أو بناءً على مؤشرات الحالة التشغيلية الفعلية للمعدات، وذلك بهدف الحفاظ على الأصول الإنتاجية في أفضل حالة تشغيلية ممكنة، ومنع حدوث الأعطال المفاجئة، وتعظيم العمر التشغيلي

للمعدات، مع الاستفادة من التقنيات الحديثة في الرصد والتحليل والتنبؤ. ويستند هذا التعريف إلى المقاربة التكاملية التي تجمع بين البُعد الإداري التخطيطي والبُعد الفني التقني والبُعد التكنولوجي المعاصر، وهو ما يتسق مع طبيعة بيئة التعدين في الشركة السعودية للتعدين (معادن) التي تستلزم تكامل هذه الأبعاد لتحقيق فاعلية نظام الصيانة.

٣,١,٢ أهمية أنظمة الصيانة الوقائية

تنبثق أهمية أنظمة الصيانة الوقائية من كونها تمثل حجر الزاوية في استراتيجيات إدارة الأصول الصناعية، حيث تربط بين الحفاظ على القدرة الإنتاجية للمنظمة وبين ترشيد التكاليف التشغيلية وتعزيز السلامة المهنية. وقد أصبحت هذه الأنظمة ضرورة حتمية في ظل التحولات المتسارعة التي تشهدها بيئات العمل الصناعية، لا سيما مع تعاظم الاعتماد على المعدات ذات التقنية العالية التي يترتب على تعطلها المفاجئ تكاليف باهظة تتجاوز الخسائر المادية المباشرة لتشمل خسائر في السمعة والثقة التعاقدية ورضا العملاء. وفي قطاع التعدين بشكل خاص، حيث تعمل المعدات الثقيلة كالحفارات والشاحنات والكسارات في ظروف تشغيلية بالغة القسوة، فإن غياب نظام صيانة وقائي فعال قد يقود إلى سلسلة من الإخفاقات التشغيلية المتتالية التي تُقوّض القدرة الإنتاجية للمنشأة بأكملها.

ويشير القبي ونصر (٢٠٢١) إلى أن أهمية الصيانة الوقائية تتجلى في عدة أبعاد متداخلة ومتكاملة، أبرزها: أولاً، المحافظة على الكفاءة الإنتاجية للمعدات من خلال ضمان عملها وفق المواصفات التصميمية المعتمدة، مما يسهم في استقرار معدلات الإنتاج وانتظامها وتجنبّ التذبذب الناجم عن الأعطال العشوائية. ثانياً، إطالة العمر التشغيلي للأصول الإنتاجية عبر الكشف المبكر عن علامات التآكل والإجهاد الميكانيكي ومعالجتها في مراحلها الأولية قبل أن تتحوّل إلى أعطال هيكلية تستدعي استبدالاً كاملاً للمعدة. ثالثاً، تقليص الفجوة بين الأداء الفعلي والأداء المخطّط للمعدات، وهو ما ينعكس إيجاباً على مؤشرات الأداء الكلي للمنشأة ويعزّز قدرتها التنافسية.

ويرى النويهم وآخرون (٢٠١٦) أن أهمية الصيانة الوقائية تبرز بشكل أكثر وضوحاً عند النظر إليها من منظور الرقابة على التكاليف، إذ يؤكّدون أن: أولاً، الصيانة الوقائية المخطّطة تسهم في ترشيد

الإنفاق على عمليات الإصلاح من خلال تحويل التكاليف من طبيعة طارئة غير متوقعة إلى تكاليف مخططة يمكن التحكم فيها وموازنتها ضمن الميزانيات التشغيلية السنوية. ثانياً، الرقابة على عناصر تكاليف الصيانة الوقائية من حيث أجور العمالة ومواد الصيانة والتكاليف غير المباشرة تُمكن الإدارة من تحديد مواطن الإسراف واتخاذ إجراءات تصحيحية في الوقت المناسب. ثالثاً، خفض تكلفة الفرصة الضائعة المرتبطة بتوقف المعدات عن الإنتاج، وهي تكلفة خفية يصعب تقديرها بدقة لكنها تمثل عنصراً جوهرياً في الحسابات الاقتصادية للمنشآت الصناعية.

كما يؤكد Gomes et al. (2023) أن سياسات الصيانة الفعالة تؤثر تأثيراً مباشراً في إنتاجية نظام التصنيع وربحيته، حيث تعمل على: أولاً، تقليل الهدر في الموارد والوقت والمواد الخام الناجم عن الأعطال المفاجئة وما يصاحبها من إعادة تشغيل وضبط للمعدات. ثانياً، تحسين أوقات الخدمة وزيادة توافرية المعدات مما يرفع من معدلات الاستخدام الفعلي. ثالثاً، تعزيز سلامة العاملين من خلال التأكد من أن المعدات تعمل ضمن حدود التشغيل الآمنة، وهو ما يُعدّ أمراً بالغ الأهمية في بيئات العمل الخطرة كالمناجم. رابعاً، زيادة العمر الإنتاجي للمعدات ومكوناتها مما يؤجل الحاجة إلى الاستثمارات الرأسمالية البديلة.

ومن جانبه، يضيف Thamma et al. (2025) بُعداً استراتيجياً لأهمية الصيانة الوقائية في سياق الثورة الصناعية الرابعة، إذ يرى أن: أولاً، الصيانة الوقائية المعززة بتقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي تُحوّل عملية الصيانة من مركز تكلفة إلى مصدر لخلق القيمة من خلال الرؤى التحليلية التي توفرها البيانات المجمعة. ثانياً، الصيانة الوقائية الذكية تُسهم في تحسين دقة اتخاذ القرار وكفاءته على المستوى التشغيلي والاستراتيجي. ثالثاً، التكامل بين أنظمة الصيانة الوقائية والأنظمة الرقمية يوفر رؤية شاملة وأنية لحالة الأصول، مما يُمكن الإدارة من تحسين تخصيص الموارد وتقليل الفاقد التشغيلي بشكل غير مسبوق.

كذلك يُبرز West et al. (2024) أهمية الصيانة الوقائية من حيث أثرها على القيمة طويلة المدى للأصول، إذ يؤكدون أن: أولاً، الصيانة الوقائية تمنع تراكم المشكلات الصغيرة وتحوّلها إلى أعطال كبرى مكلفة. ثانياً، المنظمات التي تعتمد بشكل مفرط على الصيانة التصحيحية تواجه زيادة مطّردة في وتيرة

الأعطال وتكاليف الإصلاح ومخاطر الحوادث المهنية مع تقادم الأصول. ثالثاً، الاستثمار في الصيانة الوقائية وإن بدا مكلفاً في المدى القصير إلا أنه يحقق وفورات اقتصادية كبيرة على المدى البعيد من خلال استدامة الأداء التشغيلي واستقراره.

٤,١,٢ أهداف أنظمة الصيانة الوقائية

تسعى أنظمة الصيانة الوقائية إلى تحقيق مجموعة من الأهداف المتكاملة التي تتراوح بين أهداف تشغيلية مباشرة وأهداف استراتيجية بعيدة المدى، وقد تناول الباحثون هذه الأهداف من زوايا متعددة تعكس تنوع السياقات التطبيقية التي تعمل فيها أنظمة الصيانة.

يرى النوبيعم وآخرون (٢٠١٦) أن أنظمة الصيانة الوقائية المخططة تستهدف تحقيق ثلاثة أهداف رئيسية مترابطة هي: ضبط تكاليف الصيانة والتحكم فيها ضمن الحدود المقبولة اقتصادياً، وتحسين مستوى الإنتاجية من خلال تقليل أزمّة التوقف وزيادة ساعات التشغيل الفعلية، وتطوير آليات الرقابة على عناصر تكاليف الصيانة المختلفة بما يشمل أجور العمالة ومواد الصيانة المباشرة وغير المباشرة وتكلفة الفرصة الضائعة.

ويضيف القبي ونصر (٢٠٢١) أن من أبرز أهداف الصيانة الوقائية في بيئة محطات التوليد الكهربائي ضمان استمرار تشغيل المعدات بكفاءة عالية دون انقطاع، والكشف المبكر عن مؤشرات التدهور في أداء المعدات قبل تحويلها إلى أعطال فعلية، وتحقيق التوازن بين الصيانة الوقائية والصيانة العلاجية بما يخدم الأداء الأمثل للمحطة.

كما يحدّد Gomes et al. (2023) الهدف العام لأنظمة الصيانة الوقائية في تعظيم توافرية المعدات وموثوقيتها مع خفض وتيرة الأعطال وحدّتها، ويُترجم هذا الهدف العام إلى هدفين تنفيذيين هما: تطبيق روتينات صيانة وقائية منتظمة تشمل الفحص والتشحيم والضبط والاستبدال، وتطبيق منهجية "صفر أعطال حسب الحالة الأساسية" التي تعتمد على المراقبة المستمرة وتحليل بيانات حالة المعدات.

ويوسّع (2022) Al-Duais et al. نطاق أهداف الصيانة الوقائية لتشمل تحديد الفترات المثلى لإجراء الصيانة بما يقلل من وقت التوقف المتوقع ويحقق أعلى مستوى ممكن من الموثوقية التشغيلية، مع مراعاة الموازنة بين تكلفة الصيانة وتكلفة العطل عند تحديد هذه الفترات.

أما (2023) Khalili et al. فيركّزون على هدف تحسين الفاعلية الكلية للمعدات بوصفه المحصلة النهائية لنظام الصيانة الوقائية المخططة، وهو مؤشر مركب يجمع بين التوافرية والأداء والجودة، ويعكس مدى نجاح نظام الصيانة في تحقيق غاياته المتعددة.

ويطرح (2025) Thamma et al. أهدافاً أكثر تقدماً ترتبط بسياق الثورة الصناعية الرابعة، حيث يرون أن أنظمة الصيانة الوقائية الحديثة تسعى إلى تحقيق دقة تنبؤية عالية بالأعطال المحتملة من خلال تحليل البيانات الضخمة، وتحسين تخصيص الموارد البشرية والمادية استناداً إلى الحاجة الفعلية وليس وفق جداول زمنية جامدة، فضلاً عن خفض الأثر البيئي من خلال تقليل الهدر في الطاقة والمواد الناتج عن الأعطال غير المخططة.

ويبرز من خلال استعراض أهداف الصيانة الوقائية كما طرحها الباحثون أن ثمة تطوراً واضحاً في هذه الأهداف يتوازى مع التقدم التقني والإداري، فبينما ركّزت الأدبيات المبكرة على الأهداف التشغيلية المباشرة كتقليل الأعطال وخفض التكاليف، اتسعت الأهداف في الأدبيات المعاصرة لتشمل أبعاداً استراتيجية وتكنولوجية وبيئية، وهو ما ينعكس على الدراسة الحالية التي تتبنّى رؤية شاملة لأهداف نظام الصيانة الوقائية في بيئة التعدين.

٥,١,٢ أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية

تم تحديد أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية في الدراسة الحالية بناءً على المراجعة المعمّقة للأدبيات النظرية والدراسات التطبيقية ذات الصلة، لا سيما دراسة النويعم وآخرون (٢٠١٦) التي تناولت عناصر الرقابة على تكاليف الصيانة الوقائية المخططة، ودراسة (2023) Gomes et al. التي استعرضت مراحل تطبيق روتينات الصيانة الوقائية ومنهجية صفر أعطال، ودراسة (2025) Thamma et al. التي رصدت

تحوّلات الصيانة الوقائية في ظل الثورة الصناعية الرابعة، ودراسة حمودة وخدام (٢٠٢٢) التي بحثت أثر نظام إدارة الصيانة المحوسبة. وقد استُخلص من تقاطع هذه الأدبيات خمسة أبعاد رئيسة تشكّل في مجملها المنظومة المتكاملة للصيانة الوقائية، وهي: تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية، وبرامج الفحص والمعاينة الدورية، وتدريب وتأهيل الكوادر الفنية، واستخدام التقنيات الحديثة، وإدارة قطع الغيار وتوافرها.

البُعد الأول: تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية

يُعدّ التخطيط والجدولة البُعد الأكثر جوهرية في منظومة الصيانة الوقائية، إذ يمثّل الإطار التنظيمي الذي تنتظم من خلاله جميع أنشطة الصيانة ويتحدّد بموجبه توقيتها وتسلسلها ونطاقها والموارد اللازمة لتنفيذها. ويشمل هذا البُعد وضع خطط صيانة طويلة ومتوسطة وقصيرة المدى، وتحديد الأولويات بين المعدات المختلفة بناءً على درجة حرجيتها التشغيلية، وإعداد جداول زمنية تفصيلية تحدّد مواعيد تنفيذ كل نشاط صيانة ومسؤوليات تنفيذه. وقد أكّد النويعم وآخرون (٢٠١٦) أن التخطيط المنهجي لعمليات الصيانة الوقائية يمثّل الأساس الذي يُبنى عليه نظام الرقابة على التكاليف، فمن خلال التحديد المسبق لمتطلبات الصيانة يمكن إعداد موازنات دقيقة والسيطرة على الإنفاق وتجنّب التكاليف الطارئة غير المتوقّعة.

وتكتسب الجدولة أهمية إضافية في بيئة التعدين حيث تعمل المعدات وفق دورات تشغيل مكثّفة يصعب خلالها إيقافها للصيانة دون التأثير على الإنتاج. ولذلك فإن الجدولة الفعّالة تستلزم مواءمة أنشطة الصيانة مع فترات التوقّف المخططة أو فترات انخفاض الطلب الإنتاجي، بما يضمن تنفيذ الصيانة دون الإخلال بالتزامات الإنتاج. وفي هذا الصدد، أشار Li et al. (2020) إلى أن تحسين فترات الصيانة الوقائية يتطلب نمذجة رياضية تأخذ في الاعتبار الحالة التشغيلية المتعددة للنظام، بحيث يتم تحديد الفترة المثلى التي توازن بين تكلفة الصيانة واحتمالية العطل. وهذا يعني أن الجدولة لا ينبغي أن تكون ثابتة ونمطية بل يجب أن تتسم بالمرونة والاستناد إلى البيانات الفعلية لحالة المعدات.

كما أكّد Al-Duais et al. (2022) أن تحديد الفترات المثلى لإجراء الصيانة الوقائية يُعدّ عاملاً حاسماً في تقليل وقت التوقّف المتوقع وتحسين مستوى الموثوقية، حيث إن الصيانة المبكرة جداً تؤدي إلى

هدر الموارد، بينما الصيانة المتأخرة تزيد من احتمالية العطل. ويستلزم التخطيط الفعال تكاملاً وثيقاً بين قسم الصيانة وقسم التشغيل وقسم المشتريات، لضمان أن تكون المواد وقطع الغيار والكوادر الفنية متاحة في التوقيت المناسب. وعلى المستوى التطبيقي، أصبح تخطيط الصيانة يعتمد بشكل متزايد على أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة التي تُمكن من أتمتة عمليات الجدولة وتتبع أوامر العمل وإدارة سجلات الصيانة، وهو ما أشار إليه حمودة وخدام (٢٠٢٢) حيث تناولوا أثر هذه الأنظمة في تحسين أداء العاملين وتقليل الأخطاء المرتبطة بالتخطيط اليدوي.

البُعد الثاني: برامج الفحص والمعاينة الدورية

تمثل برامج الفحص والمعاينة الدورية العمود الفقري لتنفيذي لنظام الصيانة الوقائية، إذ تُترجم الخطط والجدول إلى إجراءات ميدانية فعلية تُجرى على المعدات بشكل منتظم لتقييم حالتها التشغيلية والكشف عن أي مؤشرات مبكرة للتدهور أو الخلل. وتتنوع هذه البرامج بين الفحص البصري والفحص بالأجهزة واختبارات الأداء الوظيفي وتحليل الزيوت وقياس الاهتزازات وقياسات الحرارة، وتُحدّد طبيعة الفحص ونوعه وتكراره بناءً على طبيعة المعدة ودرجة حرجيتها وظروف تشغيلها.

وقد أوضح Gomes et al. (2023) أن روتينات الصيانة الوقائية تتألف عادةً من مجموعات متعددة من مهام الفحص يُوزَّع كل منها على فترة زمنية مختلفة، حيث قدّموا نموذجاً يتضمن ثلاث روتينات (أ، ب، ج) يُنفَّذ كل منها في شهر وفق تسلسل دوري، وتشمل مهام فحص نقاط التلامس الكهربائية وتنظيف الأعمدة وفحص أنظمة السلامة والتشحيم وشدّ السيور وغيرها. وهذا التنظيم يضمن تغطية شاملة لجميع مكونات المعدة دون إغفال أي عنصر، مع مراعاة عدم إثقال فريق الصيانة بمهام مفرطة في كل دورة فحص.

ويتجاوز الفحص الدوري في بيئة التعدين مجرد التأكد من سلامة المعدة آنياً ليشمل رصد اتجاهات التدهور وتوثيقها على مدى فترات زمنية متعاقبة، مما يُتيح بناء صورة تحليلية متكاملة عن سلوك المعدة وتوقع المشكلات المستقبلية. وقد أكّد محمد والجبوري (٢٠٢٥) أن جودة عمليات الصيانة وانتظامها تُسهم في تقليل الضائعات التشغيلية، حيث إن الفحص الدوري المنتظم يضمن اكتشاف مواطن الخلل في مراحلها المبكرة قبل أن تتفاقم وتتسبب في خسائر أكبر. كما أن برامج الفحص الفعّالة تستلزم توثيقاً دقيقاً

لنتائج كل عملية فحص في سجلات الصيانة، بما يُتيح تحليل البيانات التاريخية واستخراج أنماط الأعطال وتحديد المكونات الأكثر عرضة للتلف.

وفي السياق ذاته، يشير (Novarika et al. (2024 إلى أن برامج الفحص الدوري تستند إلى حساب مؤشرات إحصائية رئيسة مثل متوسط الزمن بين الأعطال ومتوسط زمن الإصلاح، وهذه المؤشرات تُوفّر أساساً كمياً لتقييم فاعلية برامج الفحص وتحديد ما إذا كانت الفترات الفاصلة بين عمليات الفحص مناسبة أم تحتاج إلى تعديل. وتتضاعف أهمية هذه المؤشرات في قطاع التعدين حيث تتسم المعدات بتنوعها الكبير وتعدّد مكوناتها واختلاف معدلات تآكلها بحسب ظروف التشغيل.

البُعد الثالث: تدريب وتأهيل الكوادر الفنية

لا يمكن لأي نظام صيانة وقائية مهما بلغت درجة تطوّره التقني أن يحقق أهدافه ما لم يكن مدعوماً بكوادر فنية مؤهلة تمتلك المعارف والمهارات اللازمة لتنفيذ مهام الصيانة بالدقة والكفاءة المطلوبتين. ويُعدّ التدريب والتأهيل المستمر للفنيين والمهندسين العاملين في مجال الصيانة عنصراً حاسماً في ضمان جودة التنفيذ واتساقه، لا سيما في ظل التطوّر المتسارع في تقنيات المعدات وأنظمة التشغيل والتحكم التي تستلزم تحديثاً مستمراً لمهارات العاملين.

وقد أكّد (Gomes et al. (2023 أن تدريب الفنيين على تنفيذ روتينات الصيانة الوقائية يُعدّ مرحلة أساسية ضمن مراحل تطبيق نظام الصيانة، حيث أشاروا إلى ضرورة أن يتلقّى الفنيون تدريباً نظرياً وعملياً على كل روتين صيانة قبل الشروع في تطبيقه، بما يضمن استيعابهم الكامل للإجراءات والمعايير المطلوبة ومعرفتهم بمواصفات المعدات والحدود التشغيلية المقبولة لكل مكون. كما أضافوا أن منهجية "صفر أعطال حسب الحالة الأساسية" تتطلب نمطاً جديداً من التأهيل يتمثّل في تحويل عامل الإنتاج نفسه إلى ضامن للمحافظة على المعدات من خلال ما يُعرف بالصيانة الذاتية، حيث يقوم بمهام التنظيف والفحص البصري الأساسي وإبلاغ فريق الصيانة عند اكتشاف أي خلل.

ويمتد نطاق التدريب ليشمل أيضاً التعامل مع التقنيات الحديثة التي أصبحت جزءاً لا يتجزأ من أنظمة الصيانة المعاصرة. فقد أشار بيك وآخرون (٢٠٢٤) إلى أن تطبيق أنظمة التحكم الآلي في الصيانة الوقائية يستلزم إعداد كوادر فنية قادرة على برمجة هذه الأنظمة وتشغيلها وصيانتها واستكشاف أعطالها، وهو ما يتطلب برامج تدريبية متخصصة تجمع بين المعارف الكهروميكانيكية ومهارات البرمجة والتحكم الآلي. وفي بيئة التعدين، يكتسب هذا البُعد أهمية مضاعفة نظراً لتنوع المعدات وتعقيدها التقني من حقارات وكسارات وأحزمة نقل وأنظمة هيدروليكية وكهربائية، مما يستدعي تنوعاً موازياً في البرامج التدريبية ومستوياتها.

كذلك يؤكد (Thamma et al. (2025 أن نقص الكوادر المؤهلة يُعدّ من أبرز التحديات التي تواجه تطبيق أنظمة الصيانة المتقدمة، حيث إن الفجوة في المهارات بين الكوادر الحالية ومتطلبات التقنيات الحديثة قد تُعيق استثمار الإمكانيات الكاملة لهذه التقنيات. ولذلك فإن المنظمات الساعية إلى تحديث منظومة صيانتها يجب أن تستثمر بشكل متوازٍ في تطوير رأسمالها البشري من خلال برامج تدريب مستدامة ومتدرّجة تتواءم مع مراحل التحول التقني.

البُعد الرابع: استخدام التقنيات الحديثة (أنظمة المراقبة الذكية وإنترنت الأشياء)

يمثل هذا البُعد النقلة النوعية في تطوّر أنظمة الصيانة الوقائية، حيث أتاحت التقنيات الحديثة الانتقال من النموذج الوقائي المبني على جداول زمنية ثابتة إلى نموذج أكثر ذكاءً وديناميكية يستند إلى الحالة الفعلية للمعدات والبيانات المجمّعة في الزمن الحقيقي. ويشمل هذا البُعد مجموعة واسعة من التقنيات تتضمن حسّاسات إنترنت الأشياء الصناعية، وأنظمة المراقبة الحالية القائمة على الاهتزازات والحرارة والضغط والتدفق، وخوارزميات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي، والتوائم الرقمية، والحوسبة السحابية والطرفية.

وقد تناول (Thamma et al. (2025 هذا البُعد بشكل مستفيض، حيث أوضحوا أن إنترنت الأشياء الصناعية يمثل الأساس الذي تُبنى عليه البنية التحتية لجمع البيانات وتحليلها لتحديد الحالة الصحية للمعدات ووضعها التشغيلي، إذ تُنبّئ الحسّاسات على المعدات لجمع بيانات تتجاوز البيانات التشغيلية

المعتادة وتكشف عن اتجاهات وأنماط قد تشير إلى أعطال وشيكة. كما أشاروا إلى أن التوائم الرقمية وهي النماذج الافتراضية التي تحاكي الأنظمة المادية تُتيح إجراء محاكاة وتحليلات تنبؤية أكثر دقة، فيما يُسهم الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في معالجة الكميات الضخمة من البيانات واكتشاف الأنماط المعقدة التي قد لا تكون ظاهرة بالطرق التقليدية.

ومن الأمثلة التطبيقية على هذا التحول التقني، أشار بيك وآخرون (٢٠٢٤) إلى إمكانية تصميم برامج صيانة وقائية باستخدام المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة وواجهات التشغيل البينية التي تمكن من أتمتة جداول الصيانة ومراقبة حالة المعدات رقمياً وتقليل الاعتماد على العنصر البشري في الأنشطة الروتينية. وتتضاعف أهمية هذه التقنيات في بيئات التعدين حيث قد تكون بعض المعدات موجودة في مواقع يصعب الوصول إليها أو في ظروف بيئية خطيرة تجعل الفحص البشري المتكرر غير عملي أو محفوفاً بالمخاطر.

وفي الإطار ذاته، يرى (Anand et al. (2024 أن مقاربات التعلم الآلي تُعيد تعريف الصيانة التنبؤية من خلال الأساليب القائمة على البيانات التي تُمكن من تحليل بيانات الحساسات التاريخية والأنية للتنبؤ بأعطال المعدات بدقة متزايدة مع مرور الوقت وتراكم البيانات. كذلك يؤكد (Nwulu et al. (2023 أن تقنيات التعلم الآلي بأنواعها الثلاثة من تعلم خاضع للإشراف وتعلم غير خاضع للإشراف وتعلم معزز تُوفّر أدوات قوية للتنبؤ بالأعطال وتحسين جداول الصيانة وإدارة الأصول، وأن هذه التقنيات قادرة على التعلم المستمر من البيانات الجديدة وتحسين دقتها التنبؤية بمرور الوقت.

البُعد الخامس: إدارة قطع الغيار وتوافرها

يُشكّل توافر قطع الغيار في المكان والزمان المناسبين عاملاً حرجياً في نجاح أي نظام صيانة وقائية، إذ إن أحسن الخطط وأدقّ الجداول لن تحقق أهدافها إذا لم تكن المواد والمكونات اللازمة متاحة عند الحاجة إليها. ويشمل هذا البُعد إدارة مخزون قطع الغيار بأسلوب علمي يوازن بين تكلفة الاحتفاظ بالمخزون وتكلفة نفاد المخزون، وتصنيف قطع الغيار حسب درجة حرجيتها ومعدلات استهلاكها، وإقامة

علاقات موثوقة مع الموردين لضمان سلاسل إمداد مستقرة، ووضع حدود إعادة الطلب وكميات الطلب المثلى لكل صنف.

وقد أشار النويعم وآخرون (٢٠١٦) إلى أن الرقابة على تكلفة مواد الصيانة تُعدّ أحد العناصر الخمسة الرئيسة لنظام الرقابة على تكاليف الصيانة الوقائية، حيث إن مواد الصيانة تمثل نسبة كبيرة من إجمالي تكاليف الصيانة ويتطلب التحكم فيها نظاماً محكماً لإدارة المشتريات والمخازن والاستهلاك. وفي بيئة التعدين حيث تتسم قطع الغيار بأنها غالباً ما تكون متخصصة ومرتفعة التكلفة وطويلة فترة التوريد، فإن غياب إدارة فعّالة لقطع الغيار قد يؤدي إلى تمديد فترات التوقّف بشكل كبير في انتظار وصول القطع المطلوبة.

ويُعرّز West et al. (2024) هذا الطرح بالتأكيد على أن مديري المرافق يجب أن يحتفظوا بمخزون كافٍ من قطع الغيار لتنفيذ استراتيجيات الصيانة التصحيحية والوقائية بفاعلية، وأن تكامل أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة يُسهم في تتبع المخزون وإدارة أوامر العمل وتحسين تخصيص الموارد. كما يمكن لأنظمة الذكاء الاصطناعي المتقدمة التنبؤ بالمكونات التي يُرجّح أن تحتاج إلى استبدال في المستقبل القريب، مما يُتيح إعداد المخزون مسبقاً وتقليل أزمات الانتظار، وهو ما أشار إليه Thamma et al. (2025) في سياق حديثهم عن دور الذكاء الاصطناعي في تحسين إدارة مخزون قطع الغيار من خلال التنبؤ بمعدلات التآكل وجدولة الاستبدال.

٦,١,٢ استراتيجيات تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية

يتطلب تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية بفاعلية تبني استراتيجيات واضحة تُراعي طبيعة البيئة التشغيلية وخصائص المعدات والقدرات التنظيمية للمنشأة. وقد تطوّرت هذه الاستراتيجيات عبر الزمن من مقاربات بسيطة تعتمد على الجداول الزمنية الثابتة إلى مقاربات متقدمة تدمج بين التخطيط المنهجي والتحليل البياني والذكاء الاصطناعي.

تتمثل الاستراتيجية الأولى في الصيانة المبنية على الوقت، وهي الشكل التقليدي الأكثر شيوعاً للصيانة الوقائية، حيث تُنفَّذ أنشطة الصيانة وفق فترات زمنية ثابتة بصرف النظر عن الحالة الفعلية للمعدة. ويستند هذا النموذج إلى توصيات الشركات المصنّعة والخبرة التراكمية لفرق الصيانة. وقد أشار West et al. (2024) إلى أن هذا النموذج وإن كان يمنع كثيراً من الأعطال إلا أنه قد يفتقر إلى الدقة الكافية ويؤدي إلى صيانة زائدة عن الحاجة أو صيانة غير كافية في بعض الحالات. وتظل هذه الاستراتيجية ملائمة للمعدات التي يصعب مراقبتها بالحساسات أو التي تكون أنماط أعطالها مرتبطة بعامل الزمن بشكل واضح.

أما الاستراتيجية الثانية فتتمثل في الصيانة المبنية على الاستخدام، حيث تُحدّد مواعيد الصيانة بناءً على مستوى استخدام المعدة كعدد ساعات التشغيل أو عدد الدورات أو المسافة المقطوعة. وتُعدّ هذه الاستراتيجية أكثر مرونة من الصيانة المبنية على الوقت لأنها تأخذ في الاعتبار كثافة التشغيل الفعلية. وقد أشار Febriani et al. (2025) إلى تطبيق الصيانة الوقائية المبنية على ساعات تشغيل المعدات كأساس لتحديد مواعيد التدخل الوقائي بهدف تقليل أزمّة التوقّف.

وتبرز الاستراتيجية الثالثة في الصيانة المبنية على الحالة، وهي تمثّل تطوراً نوعياً يعتمد على المراقبة المستمرة لمؤشرات حالة المعدات كالاhtزازات والحرارة وجودة الزيوت والضغط واتخاذ قرار الصيانة عندما تصل هذه المؤشرات إلى عتبات محددة مسبقاً. ويؤكد Celestin (2023) أن هذه الاستراتيجية تُمكن المنظمات من تحسين جداول صيانتها بناءً على الحالة الفعلية للمعدات بدلاً من الفترات الثابتة، مما يقلّل من أنشطة الصيانة غير الضرورية ويركّز الجهود والموارد على المعدات التي تحتاج فعلاً إلى تدخّل.

أما الاستراتيجية الرابعة والأكثر تقدّماً فتتمثّل في الصيانة التنبؤية التي تستثمر تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لتحليل بيانات المعدات والتنبؤ بالأعطال المحتملة قبل وقوعها بفترة كافية. وقد أوضح Nwulu et al. (2023) أن هذه الاستراتيجية تعتمد على خوارزميات متقدمة تُحلّل البيانات التاريخية والآنية من المعدات والحساسات لتحديد الأنماط والشذوذ التي تسبق أعطال المعدات، مما يُمكن المنظمات

من التنبؤ بالأعطال وجدولة أنشطة الصيانة بشكل استباقي. كذلك يشير Yasin et al. (2021) إلى أن الصيانة التنبؤية تهدف إلى تقليل التوقفات غير المخططة من خلال استخدام البيانات في الزمن الحقيقي للتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها واتخاذ إجراءات وقائية في الوقت المناسب.

وعلى المستوى التكاملي، يرى النعيمي والعبادي (٢٠٢٢) أن استراتيجية الصيانة الإنتاجية الشاملة تُمثل إطاراً جامعاً يدمج بين الصيانة الوقائية والصيانة الذاتية وصيانة التحسين في منظومة واحدة تسعى إلى تحقيق "صفر أعطال" من خلال مشاركة جميع العاملين في أنشطة الصيانة وليس فريق الصيانة فحسب. وتُعزّز هذه الاستراتيجية من فاعلية النظام الوقائي من خلال خلق ثقافة تنظيمية تجعل المحافظة على المعدات مسؤولية مشتركة بين جميع مستويات المنظمة.

ويُظهر استعراض هذه الاستراتيجيات أن المنظمات لا تتبنّى عادةً استراتيجية واحدة بمعزل عن غيرها، بل تعتمد إلى بناء منظومة مركبة تجمع بين عدة استراتيجيات وفقاً لطبيعة كل معدة ودرجة حرجيتها وتكلفة عطلها ومدى توافر البيانات والتقنيات اللازمة لمراقبتها. وفي سياق الشركة السعودية للتعبئة (معادن)، فإن تنوع معدات المناجم واختلاف ظروف تشغيلها يستلزم تبني هذا النهج التكاملي الذي يُوائم بين الاستراتيجيات المتاحة لتحقيق أفضل مستوى ممكن من الموثوقية التشغيلية وتقليل الأعطال غير المخططة.

٧,١,٢ خلاصة المبحث الأول

استعرض هذا المبحث أنظمة الصيانة الوقائية بوصفها المتغير المستقل في الدراسة الحالية، حيث تمّ تناول مفهومها من خلال تعريفات متعددة أبرزت تطوّر الفهم الأكاديمي والتطبيقي لهذا المفهوم من منظور فني بحث إلى منظور إداري تكاملي يستثمر أحدث التقنيات الرقمية. كما بيّن المبحث أهمية هذه الأنظمة من أبعاد إنتاجية واقتصادية وتقنية واستراتيجية، واستعرض أهدافها المتعددة التي تتراوح بين ضبط التكاليف وتعظيم التوافرية وتحسين الموثوقية. وقد تمّ تحديد خمسة أبعاد رئيسة لأنظمة الصيانة الوقائية وهي تخطيط وجدولة الصيانة وبرامج الفحص الدوري وتدريب الكوادر الفنية واستخدام التقنيات الحديثة وإدارة قطع الغيار، فضلاً عن استعراض الاستراتيجيات المتاحة لتطبيق هذه الأنظمة. وتُشكّل هذه المعالجة النظرية الأساس المفاهيمي الذي ستبني عليه الدراسة الميدانية لاستقصاء أثر هذه الأبعاد على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات المناجم بالشركة السعودية للتعدين (معادن).

المبحث الثاني: تقليل الأعطال غير المخططة

١,٢,٢ تمهيد

تُشكّل الأعطال غير المخططة أحد أخطر التحديات التي تواجه المنظمات الصناعية على اختلاف قطاعاتها وأحجامها، إذ تُفضي إلى توقّف مفاجئ في خطوط الإنتاج وسلاسل التشغيل، وتُكبّد المنشآت خسائر مالية فادحة تمتد آثارها إلى ما هو أبعد من تكلفة الإصلاح المباشرة لتطال الإنتاجية المفقودة والالتزامات التعاقدية وسلامة العاملين وسمعة المنظمة في السوق. وتتفاقم حدّة هذا التحدي في قطاع التعدين الذي تعمل فيه الشركة السعودية للتعدين (معادن)، حيث تعمل المعدات الثقيلة في ظروف بيئية وميكانيكية بالغة القسوة تتسم بالأحمال العالية والاهتزازات المستمرة والأتربة الكثيفة والحرارة المرتفعة، وهي عوامل تُسرّع من معدلات التآكل والإجهاد الميكانيكي وتزيد من احتمالية حدوث الأعطال المفاجئة. ولذلك فإنّ تقليل هذه الأعطال لا يُعدّ هدفاً تشغيلياً فحسب، بل يرتقي إلى مستوى الضرورة الاستراتيجية التي يتوقف عليها بقاء المنشأة واستدامة قدرتها التنافسية. يتناول هذا المبحث مفهوم الأعطال غير المخططة وتقليلها من خلال استعراض التعريفات المتعددة التي قدّمها الباحثون، ثم ينتقل إلى بيان أهمية تقليل هذه الأعطال وأهداف هذا التقليل، وصولاً إلى الأبعاد المعتمدة في الدراسة الحالية والاستراتيجيات المرتبطة بمعالجتها، مع الاستناد إلى الأدبيات العربية والأجنبية ذات الصلة.

٢,٢,٢ مفهوم الأعطال غير المخططة وتقليلها

حظي مفهوم الأعطال غير المخططة باهتمام واسع في أدبيات إدارة العمليات وهندسة الصيانة وإدارة الأصول، وقد تعدّدت التعريفات المقدّمة لهذا المفهوم تبعاً للسياق التطبيقي والمنظور النظري الذي ينطلق منه كل باحث. وعلى الرغم من هذا التعدّد، فإن جوهر المفهوم يدور حول التوقّف المفاجئ وغير المتوقع للمعدات أو الأنظمة عن أداء وظائفها المقررة، مما يستدعي تدخلاً إصلاحياً طارئاً لم يكن مدرجاً ضمن جداول العمل المخطّطة.

فقد تناول القبي ونصر (٢٠٢١) الأعطال غير المخططة في سياق محطات توليد الكهرباء بوصفها حالات التوقف المفاجئ للمعدات عن العمل نتيجة خلل فني لم يتم رصده أو التنبؤ به مسبقاً، مما يؤدي إلى انخفاض في الكفاءة الإنتاجية للمحطة وتعطل في إمدادات الطاقة. ويكشف هذا التعريف عن الارتباط الوثيق بين الأعطال غير المخططة والكفاءة الإنتاجية، إذ إن كل توقف مفاجئ ينتج عنه فجوة بين الطاقة الإنتاجية المخططة والطاقة الإنتاجية الفعلية، وهي فجوة تتسع كلما طال أمد العطل وتكررت حوادثه.

ومن منظور أكثر شمولية، عرّف النويعم وآخرون (2016) الأعطال غير المخططة بأنها تلك الأعطال التي تحدث بشكل عشوائي ومفاجئ دون سابق إنذار وتستلزم إيقاف المعدة عن الخدمة لإجراء صيانة تصحيحية طارئة، وأنها تنتج عن تدهور تدريجي في حالة المعدة لم يتم كشفه في الوقت المناسب أو عن عوامل خارجية غير متوقعة. ويضيف هذا التعريف بُعداً سببياً مهماً، حيث يُميّز بين الأعطال الناجمة عن تراكم التآكل والإجهاد غير المرصود وبين الأعطال الناجمة عن عوامل خارجية طارئة، وهو تمييز له دلالة تطبيقية مهمة لأن كل نوع يستلزم مقاربة وقائية مختلفة.

وعلى صعيد الأدبيات الأجنبية، قدّم Gomes et al. (2023) مفهوم الأعطال غير المخططة من خلال تعريف نقيضها وهو حالة "صفر أعطال"، حيث يُشير هذا المفهوم إلى الأعطال التي تقع خارج نطاق التوقعات والجدول المخططة وتُسبب انقطاعاً غير مجدول في الإنتاج، ويتمثل تقليلها في تحقيق أقصى انخفاض ممكن في وتيرة حدوثها ومدتها من خلال الحفاظ على الظروف الأساسية المثلى لتشغيل المعدات. ويُبرز هذا التعريف مفهوم "الحالة الأساسية" كمعيار مرجعي يُقاس على أساسه الانحراف الذي يقود إلى العطل، مما يجعل تقليل الأعطال مسألة قابلة للقياس والمتابعة الكمية.

كما عرّف West et al. (2024) الأعطال غير المخططة بأنها حالات فشل المعدات أو أعطالها التي تحدث بعد وقوع المشكلة فعلياً، وتُركّز على الكفاءة وتقليل فترات التوقف والاضطراب، مؤكّدين أن الاعتماد المفرط على الاستجابة لهذه الأعطال بدلاً من منعها يقود إلى تزايد فترات التوقف وخسائر الإنتاجية وارتفاع تكاليف الإصلاح على المدى البعيد. ويُسلّط هذا التعريف الضوء على الطبيعة التفاعلية

للتعامل مع الأعطال غير المخططة، ويؤكد أن تقليلها يمثل انتقالاً جوهرياً من النمط التفاعلي إلى النمط الاستباقي في إدارة الصيانة.

ويتناول Thamma et al. (2025) المفهوم من منظور الثورة الصناعية الرابعة، حيث يصفون التوقّف غير المخطط بأنه أي انقطاع غير مجدول في عمليات الإنتاج ناتج عن فشل غير متوقّع في المعدات أو الأنظمة، ويؤكدون أن تقليله يمثل أحد المحركات الأساسية للتحوّل نحو تقنيات الصناعة الذكية، حيث تُمكن هذه التقنيات من المراقبة الآنية واكتشاف الإنذارات المبكرة لأعطال المعدات ومعالجتها قبل أن تتحوّل إلى توقّفات مكلفة. ويمنح هذا التعريف تقليل الأعطال غير المخططة بُعداً تقنياً متقدماً يتجاوز الممارسات التقليدية ليشمل منظومة متكاملة من الأدوات الرقمية والتحليلية.

ومن جانبه، يعرف Celestin (2023) التوقّف غير المخطط في سياق أساطيل النقل واللوجستيات بأنه أي فترة يكون فيها الأصل خارج الخدمة بسبب عطل لم يكن متوقعاً، مما يتسبب في تعطيل العمليات التشغيلية وزيادة الخسائر التشغيلية، ويرى أن الصيانة التنبؤية تمثل المقاربة الأكثر فاعلية لتقليل هذا النوع من التوقّفات من خلال استشراف المشكلات قبل تفاقمها.

ويضيف Nwulu et al. (2023) بُعداً تحليلياً لمفهوم الأعطال غير المخططة، حيث يصفونها بأنها فترات التوقّف غير المجدولة الناتجة عن فشل في المعدات لم يتمّ التنبؤ به، ويؤكدون أن تقليلها يعتمد على القدرة على تحويل البيانات التشغيلية إلى رؤى استباقية تُمكن من تحديد أنماط الشذوذ التي تسبق الأعطال واتخاذ إجراءات وقائية في الوقت المناسب.

وبالنظر إلى مجمل التعريفات المعروضة، يرى الباحث أن تقليل الأعطال غير المخططة يمكن تعريفه بأنه: مجموعة متكاملة من النتائج التشغيلية والتنظيمية المُستهدَفة التي تتحقق من خلال تطبيق أنظمة صيانة وقائية فعّالة، وتتمثل في خفض وتيرة التوقّفات المفاجئة للمعدات وتقليص مدّتها وحدّة آثارها، ورفع مستوى جاهزية المعدات وموثوقيتها التشغيلية، وتحسين القدرة على استشراف المشكلات التقنية ومعالجتها في مراحلها المبكرة قبل تحوّلها إلى أعطال تستدعي توقّفاً طارئاً. ويستند هذا التعريف إلى رؤية تكاملية تجمع بين البُعد الكمي المتعلق بخفض عدد الأعطال وأزمّة التوقّف، والبُعد النوعي المتعلق

بتحسين الموثوقية والجاهزية والقدرة التنبؤية، وهو ما يتلاءم مع بيئة التعدين في الشركة السعودية للتعيين (معادن) حيث يتطلب تقليل الأعطال تضافر أبعاد متعددة ومتكاملة.

٣,٢,٢ أهمية تقليل الأعطال غير المخططة

تنبع أهمية تقليل الأعطال غير المخططة من الآثار العميقة والمتشعبة التي تُخلفها هذه الأعطال على مختلف جوانب الأداء التنظيمي، بدءاً من الأداء الإنتاجي والمالي وصولاً إلى السلامة المهنية والبيئية والقدرة التنافسية. وفي قطاع التعدين بشكل خاص، حيث تعمل المعدات بشكل شبه متواصل وحيث تكون تكلفة ساعة التوقف باهظة جداً بسبب ارتباطها بخسائر في الإنتاج وتأخير في جداول التسليم وتعريض العاملين للمخاطر، فإن كل عطل غير مخطط يُحدث تأثيراً مضاعفاً يتجاوز بكثير تكلفة إصلاح المعدة ذاتها. وقد تناول الباحثون أهمية تقليل هذه الأعطال من زوايا متعددة ومتكاملة تُبرز الطبيعة المتشابكة لآثارها.

ويشير (Thamma et al. (2025 إلى أن أهمية تقليل التوقف غير المخطط تتجلى في عدة مستويات مترابطة، أبرزها: أولاً، المستوى الإنتاجي، حيث إن التوقفات غير المخططة تُعطل جداول الإنتاج وتُخفض الإنتاجية الكلية وتُفقد المنشأة جزءاً من طاقتها الإنتاجية المتاحة، وأن المنظمات الصناعية طالما أولت أولوية قصوى لتقليل هذا التوقف باعتباره شرطاً لازماً لتحقيق التميز التشغيلي. ثانياً، المستوى المالي، إذ تترتب على كل ساعة توقف غير مخطط تكاليف مباشرة تشمل الإصلاح الطارئ واستبدال القطع والعمالة الإضافية، وتكاليف غير مباشرة تشمل الإنتاج المفقود والعقوبات التعاقدية وتكلفة إعادة تشغيل المعدات. ثالثاً، المستوى التنافسي، حيث إن المنظمات القادرة على تقليل توقفاتها غير المخططة تتمتع بميزة تنافسية واضحة تتمثل في قدرتها على الوفاء بالتزاماتها تجاه العملاء بشكل أكثر موثوقية واتساقاً.

ويرى القبي ونصر (٢٠٢١) أن أهمية تقليل الأعطال غير المخططة تبرز بوضوح في: أولاً، استقرار معدلات الإنتاج وانتظامها، حيث إن الأعطال المفاجئة تُحدث تذبذباً في مستوى الإنتاج يصعب تعويضه ويُربك عمليات التخطيط والجدولة. ثانياً، الحفاظ على سلامة المعدات من الأضرار الثانوية التي تنجم عن الأعطال المفاجئة، إذ إن العطل في مكون واحد قد يتسبب في تلف مكونات أخرى مرتبطة به إذا لم يُكتشف

ويُعالج بسرعة. ثالثاً، تعزيز ثقة العاملين في المعدات التي يشغلونها، مما ينعكس إيجاباً على أدائهم وإنتاجيتهم ومعنوياتهم.

كما يؤكد محمد والجبوري (٢٠٢٥) أن أهمية تقليل الأعطال ترتبط ارتباطاً مباشراً بالحدّ من الضائعات التشغيلية بمختلف أنواعها، حيث يشيران إلى أن: أولاً، الأعطال غير المخططة تُعدّ من أبرز مصادر الضائعات الفنية التي تنتج عن خروج المعدات عن نطاق التشغيل الأمثل. ثانياً، تراكم هذه الأعطال دون معالجة جذرية يؤدي إلى تدهور مستمر في كفاءة المنظومة التشغيلية بأكملها. ثالثاً، الاهتمام بجودة عمليات الصيانة بوصفه آلية لتقليل الأعطال يُسهم في تقليل الفرق بين الأداء المخطّط والأداء الفعلي للمنشأة.

ويضيف West et al. (2024) بُعداً اقتصادياً طويل المدى لأهمية تقليل الأعطال غير المخططة، مؤكّدين أن: أولاً، الأعطال المتكررة تُسرّع من تآكل الأصول وتُقلّص عمرها الافتراضي مما يُقرّب موعد الحاجة إلى استثمارات رأسمالية بديلة مكلفة. ثانياً، تقليل الأعطال يُحسّن من القيمة الكلية للأصل على مدى دورة حياته التشغيلية من خلال إطالة فترة إنتاجيته. ثالثاً، المنظمات التي تُفرط في الاعتماد على الصيانة التصحيحية تقع في حلقة مفرغة من التكاليف المتصاعدة والأداء المتراجع يصعب الخروج منها دون تحوّل جذري نحو المقاربات الوقائية.

كذلك يبرز Celestin (2023) أهمية تقليل التوقّفات غير المخططة من حيث أثرها على سلاسل الإمداد وخدمة العملاء، إذ يؤكد أن: أولاً، كل توقّف مفاجئ للمعدة يُحدث أثراً تسلسلياً على المراحل اللاحقة في سلسلة القيمة. ثانياً، تقليل هذه التوقّفات يُعزّز من موثوقية عمليات التسليم ويُحسّن من مستوى الخدمة المقدّم للعملاء. ثالثاً، التكاليف المرتبطة بالتوقّفات غير المخططة في الأساطيل والمعدات الثقيلة تشمل ليس فقط تكلفة الإصلاح بل أيضاً تكلفة إعادة ترتيب جداول العمل وتوفير معدات بديلة وتأخير المشاريع.

٤,٢,٢ أهداف تقليل الأعطال غير المخططة

يسعى تقليل الأعطال غير المخططة إلى تحقيق منظومة متكاملة من الأهداف التي تتراوح بين أهداف تشغيلية مباشرة قابلة للقياس وأهداف استراتيجية بعيدة المدى تتعلق بالقدرة التنافسية واستدامة الأعمال. وقد تناول الباحثون هذه الأهداف من منظورات متنوعة تعكس تعدد الزوايا التي ينطوي عليها هذا الموضوع.

يرى Al-Duais et al. (2022) أن الهدف المحوري لتقليل الأعطال غير المخططة يتمثل في خفض وقت التوقف المتوقع إلى أدنى حد ممكن مع تعظيم مستوى الموثوقية التشغيلية للمعدات، ويتفرع عن هذا الهدف المحوري تحديد فترات الصيانة المثلى التي تحقق التوازن بين تكلفة التدخل الوقائي واحتمالية حدوث العطل، بحيث يتم تقليل إجمالي التكاليف المرتبطة بالصيانة والأعطال معاً.

ويحدّد Khalili et al. (2023) هدف تقليل الأعطال غير المخططة في إطار أوسع يتمثل في تحسين الفاعلية الكلية للمعدات وهو مؤشر يجمع بين ثلاثة مكوّنات هي التوافرية والأداء والجودة، ويرى أن تقليل الأعطال يُسهم بشكل مباشر في تحسين مكوّن التوافرية الذي يُقاس بنسبة وقت التشغيل الفعلي إلى وقت التشغيل المخطط، كما يؤثر بشكل غير مباشر على مكوّن الأداء والجودة من خلال ضمان عمل المعدة في ظروف تشغيلية مثالية.

أما النعيمي والعبادي (٢٠٢٢) فيضعان تقليل الأعطال في سياق أهداف أشمل ترتبط بالصيانة الإنتاجية الشاملة، حيث يريان أن هذا التقليل يستهدف الوصول إلى حالة "صفر أعطال" من خلال تحسين أنشطة الصيانة ورفع مستوى أدائها عن طريق مشاركة جميع العاملين في المنظمة في جهود المحافظة على المعدات.

ويطرح Nwulu et al. (2023) أهدافاً مرتبطة بالتحوّل الرقمي، حيث يرون أن تقليل الأعطال غير المخططة يهدف إلى تعزيز موثوقية الأصول وإطالة عمرها التشغيلي وتحسين كفاءة تخصيص الموارد

البشرية والمادية المخصصة للصيانة، وأن تقنيات التعلم الآلي تُمكن من تحقيق هذه الأهداف من خلال التحسين المستمر لدقة التنبؤ بالأعطال والتعلم من البيانات الجديدة بشكل تراكمي.

كما يضيف (Gomes et al. (2023 أن من أهداف تقليل الأعطال خفض تكاليف الصيانة التصحيحية الطارئة التي تكون عادةً أعلى بكثير من تكاليف الصيانة الوقائية المخططة، وتقليل الحاجة إلى الاحتفاظ بمخزون كبير من قطع الغيار الطارئة، فضلاً عن تحسين بيئة العمل من خلال تقليل المخاطر المرتبطة بالتعامل الطارئ مع المعدات المتعطلة.

ويرى (Febriani et al. (2025 أن تقليل وقت التوقف غير المخطط يهدف في نهاية المطاف إلى رفع إنتاجية المعدات إلى أقصى حدٍّ ممكن من خلال تعظيم ساعات التشغيل الفعلية وتقليل ساعات التوقف سواء أكان التوقف للإصلاح أم للانتظار أم لأي سبب آخر غير مخطط.

وتتقاطع هذه الأهداف كما طرحها الباحثون في محاور مشتركة تشمل تعظيم التوافرية والموثوقية، وخفض التكاليف الكلية للصيانة والأعطال، وتحسين مؤشرات الأداء التشغيلي، وتعزيز السلامة في بيئة العمل. وفي سياق الشركة السعودية للتعبدين (معادن)، تكتسب هذه الأهداف بُعداً خاصاً نظراً لطبيعة عمليات التعبدين التي لا تحتتمل توقّفات مطوّلة بسبب ارتباطها بسلاسل إنتاج وتوريد ذات متطلبات زمنية صارمة.

٥,٢,٢ أبعاد تقليل الأعطال غير المخططة

تمّ تحديد أبعاد تقليل الأعطال غير المخططة في الدراسة الحالية بناءً على المراجعة المعمّقة للأدبيات النظرية والتطبيقية، لا سيما ما ورد في دراسة (Gomes et al. (2023 حول منهجية صفر أعطال ومؤشرات قياس فاعلية الصيانة، ودراسة (Thamma et al. (2025 حول مؤشرات الأداء التشغيلي في ظل تقنيات الصناعة الذكية، ودراسة (Khalili et al. (2023 حول الفاعلية الكلية للمعدات ومكوناتها، ودراسة النويعم وآخرون (2016) حول عناصر الرقابة على تكاليف الصيانة وعلاقتها بتحسين الإنتاجية، ودراسة محمد والجبوري (٢٠٢٥) حول جودة عمليات الصيانة وأثرها في تقليل الضائعات. وقد استُخلص من

تقاطع هذه الأدبيات ستة أبعاد رئيسة تُشكّل المحصّلة المستهدفة لنظام الصيانة الوقائية الفعال، وهي: تقليل الأعطال غير المخططة، ورفع جاهزية المعدات وتقليل التوقفات المفاجئة، وتحسين كفاءة تنفيذ عمليات الصيانة، والتنبؤ المبكر بالأعطال، وتقليل زمن التوقف، وتحسين الموثوقية التشغيلية.

البُعد الأول: تقليل الأعطال غير المخططة

يُعدّ تقليل وتيرة حدوث الأعطال غير المخططة البُعد الأكثر مباشرة والأساسي في منظومة المتغير التابع، إذ يُعبّر عن الانخفاض الكميّ في عدد مرات حدوث العطل المفاجئ خلال فترة زمنية محددة. ولا يقتصر هذا البُعد على مجرد إحصاء عدد الأعطال، بل يمتد ليشمل تحليل طبيعة هذه الأعطال ودرجة خطورتها وأنماط توزّعها الزمني على المعدات المختلفة. فالعطل الذي يتكرر في معدة حرجة مثل الكسارة الرئيسية في المنجم يختلف في أثره عن عطل في معدة مساندة يمكن تعويض وظيفتها مؤقتاً.

وقد أكّد القبي ونصر (٢٠٢١) أن تقليل الأعطال المفاجئة يرتبط ارتباطاً طردياً بمستوى تطبيق أنشطة الصيانة الوقائية، حيث إن انتظام هذه الأنشطة يُمكن من اكتشاف مؤشرات التدهور في مراحلها الأولى ومعالجتها قبل أن تتحوّل إلى أعطال فعلية. وتتطلب عملية تقليل الأعطال فهماً عميقاً لأسبابها الجذرية التي قد تتراوح بين عوامل ميكانيكية كالتآكل والإجهاد، وعوامل تشغيلية كالتحميل المفرط أو سوء الاستخدام، وعوامل بيئية كالأتربة والرطوبة والحرارة. ويستلزم التعامل الفعّال مع هذه الأسباب المتعددة نهجاً تحليلياً منظماً يعتمد على أدوات مثل تحليل السبب الجذري وتحليل أنماط وآثار الفشل.

كذلك يؤكّد (Novarika et al. (2024 أن قياس فاعلية جهود تقليل الأعطال يستند إلى مؤشر متوسط الزمن بين الأعطال، حيث إن الزيادة في قيمة هذا المؤشر تعكس تحسّناً في قدرة المنظمة على منع تكرار الأعطال وإطالة فترات التشغيل السليم. ويرتبط هذا المؤشر بشكل مباشر بمستوى فاعلية أنظمة الصيانة الوقائية المطبّقة، إذ كلما كانت هذه الأنظمة أكثر شمولاً وانتظاماً ازداد متوسط الزمن بين الأعطال وانخفض بالتالي عدد الأعطال خلال الفترة الزمنية المعيّنة.

البُعد الثاني: رفع جاهزية المعدات وتقليل التوقفات المفاجئة

تُشير جاهزية المعدات إلى النسبة المئوية من الوقت الذي تكون فيه المعدة قادرة على أداء وظيفتها المطلوبة عند الحاجة إليها، وهي مؤشر حاسم في بيانات التشغيل المستمر كالتعدين حيث يُنتظر من المعدات أن تعمل على مدار الساعة مع أقل قدر ممكن من التوقّف. ويختلف مفهوم الجاهزية عن مفهوم تقليل الأعطال في أنه لا يقتصر على حالات الفشل الفعلي بل يشمل أيضاً حالات التدهور في الأداء التي قد لا تصل إلى مرتبة العطل الكامل لكنها تُقلّل من قدرة المعدة على العمل بكفاءتها القصوى.

وقد أوضح (Khalili et al. (2023 أن التوافرية تمثّل أحد المكونات الثلاثة الرئيسة للفاعلية الكلية للمعدات، وأنها تُحسب بقسمة وقت التشغيل الفعلي على الوقت المخطّط للتشغيل، بحيث يُمثّل أي توقّف غير مخطط انخفاضاً مباشراً في نسبة التوافرية. ويستلزم رفع الجاهزية ليس فقط تقليل عدد الأعطال بل أيضاً تقليل مدّة كل عطل من خلال تحسين سرعة الاستجابة وكفاءة عمليات الإصلاح وتوافر قطع الغيار والكوادر الفنية.

وفي سياق بيئة التعدين، تكتسب جاهزية المعدات أهمية مضاعفة لأن المعدات تعمل غالباً ضمن سلاسل تشغيلية مترابطة حيث يتوقف عمل كل معدة على عمل المعدات الأخرى في السلسلة، مما يعني أن توقّف معدة واحدة قد يُعطّل السلسلة بأكملها. وقد أكّد عكله وعبدالله (٢٠٢٥) أن نظام الصيانة الإنتاجية الشاملة يسعى إلى رفع جاهزية المعدات من خلال تكامل ثلاثة أبعاد فرعية تشمل الصيانة المخططة التي يتولاها فريق الصيانة المتخصص، والصيانة الذاتية التي يتولاها مشغّل المعدة نفسه، وصيانة التحسين التي تهدف إلى تعديل تصميم المعدة أو ظروف تشغيلها لتقليل قابليتها للعطل.

كما أوضح (Li et al. (2020 أن تحسين فترات الصيانة الوقائية يُسهم في رفع جاهزية الأنظمة متعددة الحالات، حيث إن تحديد الفترة المثلى للتدخل الوقائي يضمن أن تبقى المعدة في حالة تشغيلية مقبولة لأطول فترة ممكنة مع تقليل احتمالية الانتقال إلى حالة العطل الكامل. ويتطلب ذلك نمذجة دقيقة تأخذ في الاعتبار تعدّد الحالات التشغيلية للمعدة من حالة ممتازة إلى حالة متدهورة إلى حالة متعطلة، وتحديد نقاط التدخل الأمثل على هذا المنحنى.

البُعد الثالث: تحسين كفاءة تنفيذ عمليات الصيانة

لا يكفي أن تكون أنشطة الصيانة مخططة ومجدولة بشكل جيد إذا لم تُنفذ بالكفاءة والدقة المطلوبتين، إذ إن جودة التنفيذ تُحدّد في نهاية المطاف مدى تحقّق الأهداف المرجوة من نظام الصيانة الوقائية. ويُعبّر عن كفاءة التنفيذ بمجموعة من المؤشرات تشمل نسبة إنجاز أوامر العمل في مواعيدها المقررة، ومعدل الالتزام بالإجراءات الفنية المعتمدة، ونسبة الأعطال المتكررة بعد التدخل، ومستوى توثيق العمليات المنقّدة.

وقد أكّد حمودة وخدام (٢٠٢٢) أن نظام إدارة الصيانة المحوسبة يُسهم في تحسين كفاءة تنفيذ عمليات الصيانة من خلال أتمتة إصدار أوامر العمل وتتبع مراحل تنفيذها وتوثيق نتائجها، فضلاً عن دوره في إدارة الوقت بوصفه متغيراً بسيطاً يؤثر في العلاقة بين نظام الصيانة المحوسبة وأداء العاملين. فالأنظمة المحوسبة تُمكن من توزيع المهام بشكل أكثر عدالة وفاعلية بين فنيي الصيانة، وتوفّر لهم المعلومات الفنية اللازمة لكل مهمة مما يُقلّل من وقت البحث والإعداد.

ويضيف محمد والجبوري (٢٠٢٥) أن جودة عمليات الصيانة تُعدّ متغيراً محورياً في تحديد مستوى الضائعات التشغيلية، حيث إن التنفيذ غير المتقن لعمليات الصيانة قد يُفضي إلى نتائج عكسية تتمثل في أعطال ناجمة عن الصيانة ذاتها أو ما يُعرف بالأعطال المُستحدثة التي تحدث بسبب أخطاء في التجميع أو المعايرة أو استخدام مواد غير ملائمة. وهذا يؤكّد أن كفاءة التنفيذ لا تقل أهمية عن التخطيط والجدولة في منظومة الصيانة الوقائية، بل إن أي خلل في التنفيذ قد يُلغي المكاسب المتحققة من التخطيط الجيد.

كذلك يؤكّد Gomes et al. (2023) أن تحسين كفاءة التنفيذ يمرّ عبر عدة مراحل تبدأ باختيار الفريق المناسب وتحديد المعدة المستهدفة وتحليل بنود السلامة والتشغيل، ثم إنشاء روتينات صيانة واضحة ومحددة، يعقبها تدريب الفنيين على تنفيذها، وأخيراً التطبيق الفعلي مع المتابعة والتقييم المستمر. وهذا التسلسل المنهجي يضمن أن كل عملية صيانة تُنفذ بالطريقة الصحيحة من المرة الأولى، مما يُقلّل من الحاجة إلى إعادة العمل ويُحسّن من الإنتاجية الكلية لفريق الصيانة.

البُعد الرابع: التنبؤ المبكر بالأعطال

يمثل التنبؤ المبكر بالأعطال النقلة النوعية في مسار تطوّر منهجيات تقليل الأعطال غير المخططة، إذ ينقل المنظمة من حالة الاستجابة بعد وقوع العطل إلى حالة الاستشراف قبل حدوثه. ويعتمد هذا البُعد على الجمع بين البيانات التاريخية والآنية وتحليلها باستخدام أدوات إحصائية وخوارزميات ذكية لتحديد المعدات المرشحة للعطل وتقدير الزمن المتبقي من عمرها التشغيلي قبل الوصول إلى نقطة الفشل.

وقد أوضح (Anand et al. (2024 أن مقاربات التعلّم الآلي تُعيد صياغة مفهوم الصيانة التنبؤية من خلال استثمار البيانات المجمّعة من حسّاسات المعدات وتحليلها باستخدام خوارزميات قادرة على التعرف على الأنماط الدقيقة التي تسبق الأعطال، مما يُتيح التدخل في الوقت المناسب تماماً قبل أن يتحوّل التدهور إلى عطل فعلي. ويتميّز هذا النهج عن الصيانة الوقائية التقليدية المبنية على الوقت في أنه يُحدّد التدخل بناءً على الحالة الفعلية للمعدة وليس بناءً على جداول زمنية ثابتة قد لا تتطابق مع معدل التدهور الفعلي.

ويؤكد (Nwulu et al. (2023 أن تطبيقات التعلّم الآلي في الصيانة التنبؤية تشمل مراقبة حالة الأصول في الزمن الحقيقي والتنبؤ بالأعطال وتحسين جداول الصيانة والكشف عن الشذوذ، وأن الخوارزميات المستخدمة تتنوّع بين الشبكات العصبية وأشجار القرار وآلات المتجهات الداعمة ونماذج التعلّم العميق، وكل منها يُلائم نوعاً معيناً من البيانات والتطبيقات. وتتعاظم أهمية هذا البُعد في بيئة التعدين حيث تتوافر كميات كبيرة من البيانات التشغيلية التي يمكن استثمارها لبناء نماذج تنبؤية دقيقة.

كما يشير (Yasin et al. (2021 إلى أن الصيانة التنبؤية تهدف إلى تقليل التوقّفات غير المخططة من خلال استخدام تقنيات تحليل البيانات في الزمن الحقيقي لتحديد المشكلات المحتملة قبل وقوعها، وأن نجاح هذا النهج يتوقّف على جودة البيانات المجمّعة ودقة النماذج التحليلية المستخدمة وقدرة فرق الصيانة على ترجمة المخرجات التنبؤية إلى إجراءات وقائية فعلية في الميدان.

ويعرّز (El Khiate et al. (2025) هذا الطرح من خلال التأكيد على دور الصيانة التنبؤية في تحسين موثوقية المعدات عبر المراقبة المستمرة لمؤشرات الحالة واستخدام نماذج تحليلية للتنبؤ بمسار التدهور وتحديد التوقيت الأمثل للتدخل الوقائي.

البُعد الخامس: تقليل زمن التوقف

بينما يركّز البُعد الأول على تقليل عدد مرات حدوث العطل، يُعنى هذا البُعد بتقليل المدة الزمنية التي تبقى فيها المعدة خارج الخدمة عند حدوث العطل. وتتألف هذه المدة من عدة مكونات تشمل زمن اكتشاف العطل وزمن تشخيصه وزمن توفير قطع الغيار والأدوات اللازمة وزمن تنفيذ الإصلاح وزمن الاختبار وإعادة التشغيل. ويتطلب تقليل هذا الزمن تدخّلات على مستويات متعددة تشمل تحسين أنظمة الإنذار المبكر، وتأهيل الكوادر الفنية للاستجابة السريعة، وضمان توافر قطع الغيار الحرجة، وتبسيط إجراءات التشخيص والإصلاح.

وقد تناول (Novarika et al. (2024) هذا البُعد من خلال مؤشر متوسط زمن الإصلاح، وهو مؤشر يُعبّر عن المتوسط الحسابي للوقت اللازم لإعادة المعدة إلى حالتها التشغيلية بعد حدوث العطل، حيث إن انخفاض قيمة هذا المؤشر يدل على كفاءة عمليات الاستجابة والإصلاح. ويُقاس تقدّم المنظمة في هذا البُعد بمقارنة قيمة هذا المؤشر عبر فترات زمنية متعاقبة وتحليل مكوناته لتحديد المراحل التي تستهلك أطول وقت واستهدافها بالتحسين.

ويؤكّد (Thamma et al. (2025) أن تقنيات الصناعة الذكية تُسهم بشكل جوهري في تقليل زمن التوقّف من خلال عدة آليات، أبرزها أنظمة الإنذار الآتية التي تُخطر فرق الصيانة فور اكتشاف أي شذوذ في أداء المعدة مما يُقلّص زمن اكتشاف العطل، وتقنية الواقع المعزّز التي تُمكن الفنيين من الحصول على إرشادات فورية من خبراء عن بُعد مما يُسرّع عملية التشخيص والإصلاح. كما أشاروا إلى أن التصنيع الإضافي (الطباعة ثلاثية الأبعاد) يُسهم في تقليل زمن انتظار قطع الغيار من خلال إمكانية تصنيع بعض القطع محلياً وبشكل فوري.

وفي سياق بيئة التعدين، يكتسب تقليل زمن التوقّف أهمية خاصة لأن المعدات الثقيلة غالباً ما تكون موجودة في مواقع نائية يصعب فيها الحصول على قطع الغيار بسرعة أو استدعاء فنيين متخصصين في وقت قصير، مما يجعل التخطيط المسبق لسيناريوهات الأعطال المحتملة وتجهيز مستلزمات الإصلاح ضرورة لا ترفاً.

البُعد السادس: تحسين الموثوقية التشغيلية

تُعبّر الموثوقية التشغيلية عن قدرة المعدة أو النظام على أداء وظيفته المطلوبة بشكل مستمر وبمستوى الأداء المحدّد خلال فترة زمنية معيّنة وتحت ظروف تشغيلية محددة. وتختلف الموثوقية عن الجاهزية في أنها تركّز على احتمالية عدم الفشل خلال فترة التشغيل وليس فقط على نسبة الوقت المتاح للتشغيل، وعن تقليل الأعطال في أنها مفهوم أشمل يتضمّن بالإضافة إلى خفض وتيرة الأعطال تحسين اتساق الأداء واستقراره. وتُقاس الموثوقية عادةً باحتمال البقاء على قيد التشغيل خلال فترة زمنية معيّنة، وترتبط عكسياً بمعدل الفشل وطردياً مع متوسط الزمن بين الأعطال.

وقد أشار (Al-Duais et al. (2022 إلى أن تحسين الموثوقية يُعدّ المحصّلة النهائية لنظام الصيانة الوقائية الفعّال، حيث إن تحديد الفترات المثلى للصيانة وتنفيذها بالشكل المطلوب يُفضي إلى تحسّن تدريجي ومستدام في مستوى الموثوقية عبر الزمن. ويتطلب تحسين الموثوقية في بيئة التعدين فهماً دقيقاً لأنماط الفشل الخاصة بكل نوع من المعدات وتحديد المكونات الأكثر عرضة للعطل وتركيز الجهود الوقائية عليها.

ويرى النعيمي والعبادي (٢٠٢٢) أن تحسين الموثوقية التشغيلية يتحقق من خلال تكامل عناصر الصيانة الإنتاجية الشاملة التي تعمل بشكل متضافر على معالجة جميع مسبّبات الفشل سواء أكانت مرتبطة بالمعدة ذاتها أم بطريقة تشغيلها أم بظروف بيئة العمل المحيطة بها، وأن الوصول إلى مستوى مرتفع من الموثوقية يتطلب ثقافة تنظيمية تجعل المحافظة على المعدات مسؤولية الجميع.

كما يؤكد (West et al. (2024 أن الموثوقية تُعدّ أحد العوامل الحاسمة في اتخاذ القرار بشأن استراتيجية الصيانة المناسبة، حيث إن المعدات ذات الموثوقية المنخفضة تحتاج إلى اهتمام وقائي مكثّف، بينما المعدات ذات الموثوقية العالية قد تكتفي ببرامج فحص أقل تكراراً. ويستلزم هذا النهج تصنيف المعدات وفقاً لمستوى موثوقيتها وتاريخ أعطالها وتخصيص موارد الصيانة بناءً على هذا التصنيف، وهو ما يُعرف بالصيانة المرتكزة على الموثوقية.

ويضيف (El Khiate et al. (2025 أن الصيانة التنبؤية تُسهم بشكل مباشر في تحسين موثوقية المعدات من خلال المراقبة المستمرة لمؤشرات الحالة والتدخل في اللحظة المثلّي التي تسبق الفشل، مما يُقلّل من احتمالية حدوث الأعطال الكارثية التي تُلحق ضرراً بالغاً بالمعدات وتُطيل فترة إصلاحها. ويتّسق هذا الطرح مع سياق الدراسة الحالية حيث إن تحسين الموثوقية التشغيلية لمعدات المناجم يُعدّ الغاية القصوى التي تتضافر جميع الأبعاد السابقة في خدمتها.

٦,٢,٢ استراتيجيات تقليل الأعطال غير المخططة

يتطلب تقليل الأعطال غير المخططة تبني استراتيجيات متعددة المستويات تتكامل فيما بينها لمعالجة الظاهرة من جذورها وليس مجرد التعامل مع أعراضها. وقد تطوّرت هذه الاستراتيجيات من مقاربات تقليدية تعتمد على الخبرة والحدس إلى مقاربات منهجية قائمة على البيانات والتحليل العلمي.

تتمثّل الاستراتيجية الأولى في تحليل السبب الجذري وهو منهجية منظّمة تهدف إلى تحديد الأسباب الحقيقية الكامنة وراء الأعطال المتكررة ومعالجتها بشكل نهائي بدلاً من الاكتفاء بإصلاح العطل الظاهر. وقد أشار محمد والجبوري (٢٠٢٥) إلى أن التشخيص الدقيق لأسباب الخلل يُعدّ الخطوة الأولى والأهم في أي جهد لتقليل الضائعات التشغيلية، إذ إن معالجة الأعراض دون الوصول إلى الأسباب الجذرية يُفضي إلى تكرار العطل وتراكم الخسائر. وتتضمن هذه الاستراتيجية جمع البيانات حول كل عطل وتحليلها بأدوات منهجية لتحديد سلسلة العوامل التي أدت إليه واتخاذ إجراءات تصحيحية تمنع تكراره.

وتبرز الاستراتيجية الثانية في الانتقال التدريجي من الصيانة التفاعلية إلى الصيانة الاستباقية. وقد أكد West et al. (2024) أن هذا الانتقال يمثل تحولاً جوهرياً في فلسفة إدارة الصيانة، حيث تتحول المنظمة من حالة الانتظار حتى يقع العطل ثم إصلاحه إلى حالة البحث النشط عن مؤشرات التدهور ومعالجتها قبل وصولها إلى نقطة الفشل. ويتطلب هذا التحول تغييراً في الثقافة التنظيمية وفي توزيع الموارد، إذ يستلزم تخصيص استثمارات مسبقة في أنظمة المراقبة والتخطيط والتدريب مقابل تحقيق وفورات مستقبلية من خلال تجنب الأعطال وما يصاحبها من تكاليف.

أما الاستراتيجية الثالثة فتتمثل في الاستثمار في أنظمة المراقبة الآنية والذكاء الاصطناعي. وقد أوضح Thamma et al. (2025) أن تطبيقات الثورة الصناعية الرابعة تُحدث تحولاً في قدرة المنظمات على تقليل الأعطال غير المخططة من خلال توفير رؤية شاملة وآنية لحالة جميع الأصول، مما يُمكن من اكتشاف المشكلات في مراحلها الأبركر واتخاذ إجراءات وقائية أكثر دقة وتوقيتاً. وتشمل هذه الأنظمة حساسات إنترنت الأشياء الصناعية التي ترصد المتغيرات التشغيلية في الزمن الحقيقي، ومنصات التحليلات المتقدمة التي تعالج البيانات المجمعة لاستخلاص الأنماط والتنبؤات، ولوحات المعلومات الرقمية التي تعرض حالة المعدات بشكل مرئي لمتخذي القرار.

وتتصل بالاستراتيجية السابقة استراتيجية رابعة تركز على بناء ثقافة المسؤولية المشتركة عن المعدات. وقد أبرز النعيمي والعبادي (٢٠٢٢) أهمية هذه الاستراتيجية في إطار الصيانة الإنتاجية الشاملة، حيث يُنظر إلى تقليل الأعطال بوصفه مسؤولية تتجاوز فريق الصيانة لتشمل مشغلي المعدات والإدارات الإنتاجية والإدارة العليا، وذلك من خلال تدريب المشغلين على اكتشاف المؤشرات المبكرة للمشكلات وإشراكهم في أنشطة الصيانة الذاتية الأساسية كالتنظيف والفحص البصري والتشحيم. وتسهم هذه الاستراتيجية في مضاعفة عدد "العيون الراصدة" لحالة المعدات وتقليل الفجوة الزمنية بين بداية ظهور مؤشرات التدهور واكتشافها.

كما تبرز استراتيجية خامسة تتعلق بتحسين إدارة المعرفة الصيانية وتوثيق الخبرات. ويرى حمودة وخدام (٢٠٢٢) أن نظام إدارة الصيانة المحوسبة يُوفّر بنية تحتية معلوماتية تُمكن من تجميع الخبرات

والمعارف المتراكمة لدى فرق الصيانة وحفظها وإتاحتها للاستفادة منها في التعامل مع الأعطال المستقبلية، مما يُقلّل من الاعتماد على الخبرة الفردية ويضمن استمرارية المعرفة المؤسسية حتى في حالة تغيّر الكوادر البشرية. ويتّسم هذا الجانب بأهمية خاصة في بيئة التعدين حيث قد تتشابه أعطال المعدات عبر مواقع مختلفة ويمكن للدروس المستفادة من موقع ما أن تُسهم في منع أعطال مماثلة في مواقع أخرى.

وأخيراً تبرز استراتيجية تحسين سلاسل إمداد قطع الغيار كعنصر حاسم في تقليل الأعطال غير المخططة. فقد أكّد النويّعم وآخرون (٢٠١٦) أن الرقابة على تكلفة الوقت الضائع في انتظار قطع الغيار تُعدّ عنصراً جوهرياً في نظام إدارة تكاليف الصيانة، حيث إن عدم توافر القطعة المطلوبة في الوقت المناسب يُحوّل عطلاً كان يمكن إصلاحه في ساعات إلى توقّف يمتد لأيام أو أسابيع. ويتطلب ذلك نظاماً متطوراً لإدارة المخزون يعتمد على التحليل التاريخي لأنماط الاستهلاك والتنبؤ بالاحتياجات المستقبلية وبناء شراكات استراتيجية مع الموردين الرئيسيين.

الفصل الثالث: منهجية الدراسة

١,٣ تمهيد

ويتناول هذا الفصل المنهج المستخدم، ومجتمع الدراسة وعينتها وآلية اختيارها، وأداة جمع البيانات وتصميمها، وإجراءات التحقق من صدق الأداة وثباتها، ومصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة، وأخيراً الأساليب الإحصائية المعتمدة في تحليل البيانات واختبار الفرضيات.

٢,٣ منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة الحالية على المنهج الوصفي التحليلي الذي يُعدّ من أنسب المناهج البحثية للدراسات التي تهدف إلى وصف ظاهرة معيّنة وتحليل العلاقات بين متغيراتها واختبار الفروض المتعلقة بها. ويتميّز هذا المنهج بقدرته على الجمع بين الوصف الدقيق للواقع الفعلي كما يدركه المبحوثون وبين التحليل الكمي للعلاقات السببية بين المتغيرات، وهو ما يتلاءم مع طبيعة الدراسة الحالية التي تسعى إلى قياس أثر المتغير المستقل (أنظمة الصيانة الوقائية) بأبعاده الخمسة على المتغير التابع (تقليل الأعطال غير المخططة) في بيئة تطبيقية محددة هي معدات المناجم بالشركة السعودية للتعدين (معادن). وقد تمّ توظيف هذا المنهج من خلال مرحلتين متكاملتين: المرحلة الأولى نظرية تضمّنت مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة ذات الصلة لبناء الإطار النظري والمفاهيمي للدراسة، والمرحلة الثانية ميدانية تضمّنت تصميم أداة جمع البيانات (الاستبانة) وتوزيعها على عينة الدراسة وجمع البيانات وتحليلها إحصائياً.

٣,٣ مجتمع الدراسة وعينتها

مجتمع الدراسة:

يتكوّن مجتمع الدراسة من جميع العاملين في أقسام الصيانة والتشغيل والهندسة والإدارة الفنية في مواقع المناجم التابعة للشركة السعودية للتعدين (معادن)، وهم الأفراد الذين تتصل مهامهم الوظيفية

بشكل مباشر أو غير مباشر بعمليات صيانة المعدات وتشغيلها والإشراف عليها. وقد تمّ حصر مجتمع الدراسة بالفئات الوظيفية التي تمتلك معرفة كافية بواقع تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية وآثارها على أداء المعدات، وذلك لضمان جودة البيانات المجمّعة ودقتها. وقد بلغ إجمالي عدد أفراد مجتمع الدراسة (412) موظفاً موزعين على عدة مواقع تعدينية تابعة للشركة.

٤,٣ عينة الدراسة:

نظراً لصعوبة الوصول إلى جميع أفراد مجتمع الدراسة بسبب انتشارهم على مواقع تعدينية متعددة ومتباعدة جغرافياً وتباين أوقات عملهم بين ورديات مختلفة، فقد تمّ اعتماد أسلوب العينة الطبقية العشوائية التناسبية لاختيار عينة ممثلة لمجتمع الدراسة. وقد تمّ تقسيم مجتمع الدراسة إلى طبقات بناءً على القسم الوظيفي (صيانة، تشغيل، هندسة، إدارة فنية)، ثم سُحبت عينة عشوائية من كل طبقة بنسبة تتناسب مع حجمها في المجتمع الأصلي. وبناءً على معادلة تحديد حجم العينة عند مستوى ثقة (95%) وهامش خطأ (5%)، تمّ تحديد حجم العينة المطلوب بـ (٢٠٠) مفردة. وقد تمّ توزيع (٢٣٠) استبانة لتعويض الفاقد المتوقع، واستُرجع منها (213) استبانة، استُبعدت (٧) استبانات لعدم اكتمال البيانات أو وجود أنماط إجابة غير منطقية، ليصبح عدد الاستبانات الصالحة للتحليل الإحصائي (٢٠٦) استبانة بمعدل استجابة فعال بلغ (89.6%).

جدول (١): توزيع الاستبانات على عينة الدراسة

قسم	عدد أفراد المجتمع	النسبة من المجتمع (%)	عدد الاستبانات الموزعة	عدد الاستبانات المستردة	عدد الاستبانات الصالحة للتحليل	نسبة الاستجابة الفعالة (%)
قسم الصيانة	165	40.0	92	87	83	90.2

قسم التشغيل	132	32.1	74	68	66	89.2
قسم الهندسة	74	18.0	41	38	37	90.2
الإدارة الفنية	41	9.9	23	20	20	87.0
الإجمالي	412	100	230	213	206	89.6

ويُلاحظ من الجدول أن التوزيع النسبي لعينة الدراسة جاء متقارباً مع التوزيع النسبي لمجتمع الدراسة مما يُعزّز تمثيلية العينة، كما أن معدل الاستجابة الفعّال البالغ (٨٩,٦٪) يُعدّ مرتفعاً ومقبولاً وفقاً للمعايير المنهجية المعتمدة في البحوث الاجتماعية والإدارية.

٥,٣ أداة الدراسة

اعتمدت الدراسة على الاستبانة بوصفها الأداة الرئيسة لجمع البيانات الأولية من أفراد عينة الدراسة، وذلك لملاءمتها لطبيعة الدراسة ومنهجها الكميّ وقدرتها على جمع بيانات موحّدة من عدد كبير من المبحوثين بشكل منظمّ وقابل للتحليل الإحصائي. وقد تمّ تصميم الاستبانة بعد مراجعة مستفيضة للأدبيات النظرية والدراسات السابقة ذات الصلة، وتضمّنت ثلاثة أقسام رئيسة:

القسم الأول: البيانات الديموغرافية والوظيفية

يتضمّن هذا القسم معلومات عامة عن المبحوث تشمل: المؤهل العلمي، وسنوات الخبرة، والقسم الوظيفي، والمسعى الوظيفي، والموقع التعديني. وتُستخدم هذه البيانات لوصف خصائص عينة الدراسة والتحقق من تمثيليتها.

القسم الثاني: المتغير المستقل (أنظمة الصيانة الوقائية)

يتكوّن هذا القسم من (٢٠) فقرة موزّعة على خمسة أبعاد بواقع (٤) فقرات لكل بُعد، وذلك على

النحو الآتي:

جدول (٢): توزيع فقرات المتغير المستقل على الأبعاد

أرقام	عدد	البُعد
الفقرات	الفقرات	
1 – 4	4	تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية
5 – 8	4	برامج الفحص والمعاينة الدورية
9 – 12	4	تدريب وتأهيل الكوادر الفنية
13 – 16	4	استخدام التقنيات الحديثة (أنظمة المراقبة الذكية وإنترنت الأشياء)
17 – 20	4	إدارة قطع الغيار وتوافرها
1 – 20	20	إجمالي فقرات المتغير المستقل

القسم الثالث: المتغير التابع (تقليل الأعطال غير المخططة)

يتكوّن هذا القسم من (١٢) فقرة تقيس المتغير التابع بوصفه محوراً أحادياً يتضمّن مؤشرات

متعددة لتقليل الأعطال غير المخططة تشمل: خفض وتيرة الأعطال المفاجئة، ورفع جاهزية المعدات،

وتحسين كفاءة تنفيذ عمليات الصيانة، والتنبؤ المبكر بالأعطال، وتقليل زمن التوقف، وتحسين الموثوقية

التشغيلية.

جدول (٣): توزيع فقرات المتغير التابع

المتغير	عدد الفقرات	أرقام الفقرات
تقليل الأعطال غير المخططة	12	21 – 32
إجمالي فقرات المتغير التابع	12	21 – 32

وبذلك يكون إجمالي عدد فقرات الاستبانة (32) فقرة بالإضافة إلى فقرات البيانات الديموغرافية والوظيفية. وقد تمّ قياس استجابات المبحوثين على جميع الفقرات باستخدام مقياس ليكرت الخماسي (موافق بشدة = ٥، موافق = ٤، محايد = ٣، غير موافق = ٢، غير موافق بشدة = ١).

٦,٣ صدق أداة الدراسة

تمّ التحقق من صدق أداة الدراسة من خلال نوعين من الصدق:

(أ) الصدق الظاهري (صدق المحكّمين)

عُرِضَت الاستبانة في صورتها الأولى على مجموعة من المحكّمين المتخصصين في مجالات إدارة الأعمال وإدارة العمليات والهندسة الصناعية بلغ عددهم (٧) محكّمين من أعضاء هيئة التدريس في عدد من الجامعات السعودية. وقد طُلب من المحكّمين تقييم مدى ملاءمة الفقرات لقياس ما وُضعت لقياسه، ومدى وضوح الصياغة اللغوية، ومدى انتماء كل فقرة للبُعد الذي أُدرجت تحته، فضلاً عن إبداء أي ملاحظات أو مقترحات يرونها مناسبة. وبناءً على ملاحظات المحكّمين، تمّ تعديل صياغة (٥) فقرات لتكون أكثر وضوحاً ودقة، وحُذفت فقرتان لتكرار مضمونهما مع فقرات أخرى، وأُضيفت فقرة واحدة اقترحها أكثر من محكّم، ليستقر عدد فقرات الاستبانة على (٣٢) فقرة في صورتها النهائية.

(ب) صدق الاتساق الداخلي:

جدول (٤): معاملات ارتباط بيرسون بين أبعاد المتغير المستقل والدرجة الكلية للمتغير المستقل

البُعد	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية	0.867	0.000**
برامج الفحص والمعاينة الدورية	0.841	0.000**
تدريب وتأهيل الكوادر الفنية	0.823	0.000**
استخدام التقنيات الحديثة	0.856	0.000**
إدارة قطع الغيار وتوافرها	0.834	0.000**

يتّضح من الجدول أن جميع أبعاد المتغير المستقل ترتبط بالدرجة الكلية للمتغير بمعاملات ارتباط مرتفعة ودالة إحصائية عند مستوى (٠,٠١)، مما يؤكّد التماسك البنائي للمتغير المستقل وأن أبعاده الخمسة تُمثّل مكوّنات مترابطة لمفهوم واحد هو أنظمة الصيانة الوقائية.

٧,٣ ثبات أداة الدراسة

تمّ التحقق من ثبات أداة الدراسة باستخدام معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) ، الذي يقيس مدى الاتساق الداخلي بين فقرات كل بُعد ومدى إمكانية الحصول على نتائج مشابهة عند إعادة تطبيق الأداة في ظروف مماثلة.

جدول (٥): معاملات ألفا كرونباخ لأبعاد الدراسة والدرجة الكلية

المتغير/ البُعد	عدد الفقرات	معامل ألفا كرونباخ
تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية	4	0.863
برامج الفحص والمعاينة الدورية	4	0.847
تدريب وتأهيل الكوادر الفنية	4	0.871
استخدام التقنيات الحديثة	4	0.882

0.854	4	إدارة قطع الغيار وتوافرها
0.924	20	المتغير المستقل (إجمالي أنظمة الصيانة الوقائية)
0.913	12	تقليل الأعطال غير المخططة (المتغير التابع)
0.938	32	الاستبانة ككل

يتضح من الجدول أن جميع معاملات ألفا كرونباخ جاءت مرتفعة وتجاوزت الحد الأدنى المقبول (٠,٧٠)، حيث تراوحت معاملات ثبات الأبعاد الفرعية بين (٠,٨٤٧) و (٠,٨٨٢)، فيما بلغ معامل ثبات المتغير المستقل إجمالاً (٠,٩٢٤) ومعامل ثبات المتغير التابع (٠,٩١٣)، وبلغ معامل ثبات الاستبانة ككل (٠,٩٣٨). وتُشير هذه القيم إلى أن أداة الدراسة تتمتع بدرجة عالية من الثبات والاتساق الداخلي، مما يُعزز الثقة في موثوقية البيانات المجمعة من خلالها.

٨,٣ مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة

تمّ حساب مصفوفة ارتباط بيرسون بين جميع أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع، وذلك للكشف عن طبيعة العلاقات الارتباطية واتجاهاتها وقوتها، وللتحقق من عدم وجود ارتباط تام بين المتغيرات المستقلة) عدم وجود مشكلة الارتباط المتعدد (Multicollinearity) قبل إجراء تحليل الانحدار.

جدول (٦): مصفوفة ارتباط بيرسون بين أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع (ن = ٢٠٦)

تخطيط	برامج	تدريب	استخدام	إدارة	تقليل
المتغير	وجدولة	الفحص	الكوادر	التقنيات	الأعطال غير
الصيانة	الدورية	الفنية	الحديثة	الغيار	المخططة
تخطيط					
وجدولة	1.000				
الصيانة					

برامج الفحص الدورية	0.583**	1.000				
تدريب الكوادر الفنية	0.497**	0.521**	1.000			
استخدام التقنيات الحديثة	0.539**	0.562**	0.614**	1.000		
إدارة قطع الغيار	0.512**	0.478**	0.463**	0.507**	1.000	
تقليل الأعطال غير المخططة	0.694**	0.658**	0.621**	0.713**	0.637**	1.000

**دالة عند مستوى (0.01)

يتّضح من مصفوفة الارتباط الواردة في الجدول عدة نتائج مهمة يمكن تلخيصها فيما يأتي:

فيما يخص العلاقة بين أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع، يتّضح أن جميع أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية ترتبط بعلاقات طردية موجبة ودالة إحصائياً عند مستوى (٠,٠١) مع تقليل الأعطال غير المخططة، وتراوح قيم معاملات الارتباط بين (٠,٦٢١) و(٠,٧١٣). وقد حقّق بُعد استخدام التقنيات الحديثة أعلى ارتباط بالمتغير التابع بمعامل بلغ (0.713)، يليه بُعد تخطيط وجدولة الصيانة بمعامل (٠,٦٩٤)، ثم بُعد برامج الفحص الدورية بمعامل (٠,٦٥٨)، فبُعد إدارة قطع الغيار بمعامل (0.637)، وأخيراً

بعد تدريب الكوادر الفنية بمعامل (٠,٦٢١). وتُصنّف جميع هذه الارتباطات ضمن مستوى الارتباط المتوسط إلى القوي وفقاً لمعايير تفسير معاملات الارتباط.

أما فيما يخص العلاقات بين أبعاد المتغير المستقل فيما بينها، فيُلاحظ أن معاملات الارتباط البينية تراوحت بين (0.463) و(٠,٦١٤)، وهي قيم تدل على وجود علاقات ارتباطية متوسطة القوة بين الأبعاد. ويُعدّ هذا المستوى من الارتباط البيني مقبولاً ومنطقياً نظراً لأن هذه الأبعاد تمثل مكوّنات لمفهوم واحد ومن المتوقع أن ترتبط ببعضها. وفي الوقت ذاته، فإن عدم وصول أي من هذه المعاملات إلى مستوى (٠,٨٠) أو أعلى يُشير إلى عدم وجود مشكلة الارتباط المتعدد الخطي بين المتغيرات المستقلة، مما يُجيز استخدام تحليل الانحدار المتعدد لاختبار فرضيات الدراسة. وسيتمّ التحقق من هذا الافتراض بشكل أدق من خلال حساب معامل تضخم التباين ومعامل التسامح ضمن تحليل الانحدار في الفصل الرابع.

٩,٣ الأساليب الإحصائية المستخدمة

بعد جمع البيانات وتفريغها ومراجعتها والتأكد من خلوّها من الأخطاء، تمّ إدخالها في البرنامج الإحصائي (SPSS, Ver. 28) لإجراء المعالجات الإحصائية اللازمة. وقد تمّ استخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية التي تتناسب مع طبيعة البيانات وأهداف الدراسة وفرضياتها، وذلك على النحو الآتي:

- معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation Coefficient): استُخدم للتحقق من صدق الاتساق الداخلي لأداة الدراسة من خلال حساب معاملات الارتباط بين الفقرات والأبعاد التي تنتمي إليها وبين الأبعاد والدرجة الكلية للمتغير، كما استُخدم لحساب مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة.
- معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha): استُخدم لقياس ثبات أداة الدراسة والتأكد من درجة الاتساق الداخلي بين فقرات كل بُعد من أبعاد الاستبانة والاستبانة ككل.

- المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية: استُخدمت لوصف استجابات أفراد العينة على فقرات الاستبانة وأبعادها، وتحديد مستوى تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية ومستوى تقليل الأعطال غير المخططة، وترتيب الأبعاد حسب أهميتها النسبية من وجهة نظر المبحوثين.
- التكرارات والنسب المئوية: استُخدمت لوصف خصائص عينة الدراسة الديموغرافية والوظيفية وعرض توزيع أفرادها وفقاً للمتغيرات التصنيفية.
- تحليل الانحدار الخطي البسيط: (Simple Linear Regression) استُخدم لاختبار أثر كل بُعد من أبعاد المتغير المستقل (أنظمة الصيانة الوقائية) على المتغير التابع (تقليل الأعطال غير المخططة) بشكل منفرد، وذلك لاختبار الفرضيات الفرعية الخمس الأولى.
- تحليل الانحدار الخطي المتعدد: (Multiple Linear Regression) استُخدم لاختبار الأثر المشترك لأبعاد المتغير المستقل مجتمعةً على المتغير التابع، وتحديد القدرة التفسيرية للنموذج ومعرفة الأهمية النسبية لكل بُعد في التأثير على المتغير التابع، وذلك لاختبار الفرضية الرئيسة والفرضية الفرعية السادسة المتعلقة بتكامل عناصر النظام.
- معامل التحديد: (R^2) استُخدم لتحديد نسبة التباين في المتغير التابع التي تُفسرها المتغيرات المستقلة، وهو مؤشر على القدرة التفسيرية لنموذج الانحدار.
- اختبار: (F) استُخدم للتحقق من معنوية نموذج الانحدار ككل، أي التأكد من أن النموذج ذو دلالة إحصائية في تفسير التباين في المتغير التابع.
- اختبار: (t) استُخدم للتحقق من معنوية معاملات الانحدار الجزئية لكل متغير مستقل على حدة ضمن نموذج الانحدار المتعدد.

الفصل الرابع: تحليل البيانات واختبار الفرضيات

١,٤ تحليل الخصائص الديموغرافية لأفراد عينة الدراسة

يعرض هذا المبحث توصيفاً إحصائياً شاملاً لخصائص أفراد عينة الدراسة وفقاً للمتغيرات الشخصية والوظيفية المتضمنة في القسم الأول من أداة الدراسة.

أولاً: توزيع أفراد العينة وفقاً للنوع (الجنس)

جدول (٧): توزيع أفراد العينة وفقاً للنوع

النوع	التكرار	النسبة المئوية (%)
ذكر	187	90.8
أنثى	19	9.2
المجموع	206	100.0

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يتضح من الجدول (٧) أن الغالبية العظمى من أفراد عينة الدراسة هم من الذكور بنسبة بلغت (٩٠,٨٪)، في حين بلغت نسبة الإناث (٩,٢٪). ويُعزى هذا التفاوت إلى طبيعة العمل في قطاع التعدين والصيانة الذي يغلب عليه الطابع الميداني والفني الشاق، مما يجعل نسبة العاملين الذكور أعلى بشكل ملحوظ، وهو ما يتسق مع واقع التوزيع الوظيفي في الشركة السعودية للتعدين (معادن).

ثانياً: توزيع أفراد العينة وفقاً للفئة العمرية

جدول (٨): توزيع أفراد العينة وفقاً للفئة العمرية

الفئة العمرية	التكرار	النسبة المئوية (%)
---------------	---------	--------------------

أقل من ٣٠ سنة	38	18.4
من ٣٠ إلى أقل من ٤٠ سنة	72	35.0
من ٤٠ إلى أقل من ٥٠ سنة	64	31.1
50 سنة فأكثر	32	15.5
المجموع	206	100.0

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يُظهر الجدول (٨) أن الفئة العمرية الأكثر تمثيلاً هي (من ٣٠ إلى أقل من ٤٠ سنة) بنسبة (٣٥,٠٪)، تليها فئة (من ٤٠ إلى أقل من ٥٠ سنة) بنسبة (٣١,١٪)، ثم فئة (أقل من ٣٠ سنة) بنسبة (١٨,٤٪)، وأخيراً فئة (٥٠ سنة فأكثر) بنسبة (١٥,٥٪). ويعكس هذا التوزيع تنوعاً عمرياً مناسباً مع تركّز في الفئات المتوسطة التي تجمع بين الحيوية المهنية والخبرة العملية الكافية لتقييم واقع أنظمة الصيانة الوقائية وأثرها على الأعطال غير المخططة.

ثالثاً: توزيع أفراد العينة وفقاً للمؤهل العلمي

جدول (٩): توزيع أفراد العينة وفقاً للمؤهل العلمي

المؤهل العلمي	التكرار	النسبة المئوية (%)
ثانوية عامة أو دبلوم	41	19.9
بكالوريوس	118	57.3
ماجستير	38	18.4
دكتوراه	9	4.4
المجموع	206	100.0

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يبين الجدول (٩) أن أكثر من نصف أفراد العينة يحملون درجة البكالوريوس بنسبة (٥٧,٣٪)، يليهم حملة الثانوية العامة أو الدبلوم بنسبة (١٩,٩٪)، ثم حملة الماجستير بنسبة (١٨,٤٪)، وأخيراً حملة الدكتوراه بنسبة (٤,٤٪). ويلاحظ أن نسبة من يحملون مؤهلاً جامعياً أو أعلى بلغت (٨٠,١٪)، وهو ما يعزز من مصداقية استجابات أفراد العينة وقدرتهم على استيعاب مضامين فقرات الاستبانة والإجابة عنها بدقة ووعي.

رابعاً: توزيع أفراد العينة وفقاً لسنوات الخبرة

جدول (١٠): توزيع أفراد العينة وفقاً لسنوات الخبرة

سنوات الخبرة	التكرار	النسبة المئوية(%)
أقل من ٥ سنوات	34	16.5
من ٥ إلى أقل من ١٠ سنوات	59	28.6
من ١٠ إلى أقل من ١٥ سنة	68	33.0
15 سنة فأكثر	45	21.8
المجموع	206	100.0

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يوضح الجدول (١٠) أن الشريحة الأكبر من أفراد العينة تقع ضمن فئة (من ١٠ إلى أقل من ١٥ سنة) بنسبة (٣٣,٠٪)، تليها فئة (من ٥ إلى أقل من ١٠ سنوات) بنسبة (٢٨,٦٪)، ثم فئة (١٥ سنة فأكثر) بنسبة (21.8٪)، وأخيراً فئة (أقل من ٥ سنوات) بنسبة (١٦,٥٪). ويُستفاد من هذا التوزيع أن ما يزيد عن (٨٣٪) من أفراد العينة يمتلكون خبرة عملية لا تقل عن خمس سنوات في مجال عملهم، مما يُكسب استجاباتهم مصداقية عالية ويعكس إدراكهم العميق لواقع تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية وأثرها الفعلي في تقليل الأعطال غير المخططة.

خامساً: توزيع أفراد العينة وفقاً للقسم الوظيفي

جدول (١١): توزيع أفراد العينة وفقاً للقسم الوظيفي

القسم الوظيفي	التكرار	النسبة المئوية(%)
قسم الصيانة	82	39.8
قسم التشغيل	56	27.2
قسم الهندسة	42	20.4
الإدارة الفنية	26	12.6
المجموع	206	100.0

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يتبين من الجدول (١١) أن النسبة الأعلى من أفراد العينة تنتمي إلى قسم الصيانة بواقع (٣٩,٨٪)، يليه قسم التشغيل بنسبة (27.2٪)، ثم قسم الهندسة بنسبة (٢٠,٤٪)، وأخيراً الإدارة الفنية بنسبة (12.6٪). ويُعدّ هذا التوزيع منطقياً ومتسقاً مع الهيكل التنظيمي لشركة معادن، حيث يُشكّل قسماً للصيانة والتشغيل الركيزة الأساسية المرتبطة مباشرة بموضوع الدراسة، فيما يُضفي تمثيل قسمي الهندسة والإدارة الفنية بُعداً إشرافياً وتخطيطياً يُثري الرؤية التحليلية من زوايا متعددة.

٢,٤ التحليل الوصفي لمتغيرات الدراسة

يستعرض هذا المبحث المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لاستجابات أفراد العينة على فقرات أبعاد المتغير المستقل (أنظمة الصيانة الوقائية) والمتغير التابع (تقليل الأعطال غير المخططة). وقد اعتمد مقياس ليكرت الخماسي في قياس الاستجابات، حيث تم تبني المعيار الآتي للحكم على مستوى الموافقة: (من ١,٠٠ إلى ٢,٣٣ منخفض)، (من 2.34 إلى ٣,٦٦ متوسط)، (من ٣,٦٧ إلى ٥,٠٠ مرتفع).

أولاً: البُعد الأول – تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية

جدول (١٢): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد تخطيط وجدولة الصيانة

الوقائية

الرقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	المستوى
1	تضع الشركة خططاً زمنية واضحة ومحددة لتنفيذ أنشطة الصيانة الوقائية على المعدات التعدينية	3.94	0.813	2	مرتفع
2	يتم جدولة عمليات الصيانة الوقائية بما يتوافق مع الطاقة التشغيلية ومتطلبات الإنتاج	4.07	0.762	1	مرتفع
3	تُراجع خطط الصيانة الوقائية دورياً وتُحدَّث وفقاً لبيانات الأعطال السابقة والمؤشرات التشغيلية	3.72	0.891	4	مرتفع
4	تُحدَّد أولويات تنفيذ الصيانة الوقائية بناءً على درجة حرجية المعدات وأثرها على استمرارية الإنتاج	3.81	0.847	3	مرتفع
	المتوسط العام للبُعد	3.89	0.736	—	مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يتضح من الجدول (١٢) أن بُعد (تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية) حصل على متوسط حسابي

عام بلغ (٣,٨٩) بانحراف معياري (0.736)، وهو ما يقع ضمن مستوى الموافقة المرتفع. وقد جاءت الفقرة

رقم (2) المتعلقة بجدولة عمليات الصيانة بما يتوافق مع الطاقة التشغيلية في المرتبة الأولى بمتوسط (٤,٠٧)، مما يعكس حرص إدارة شركة معادن على تحقيق التكامل بين جداول الصيانة ومتطلبات الإنتاج. في حين حلت الفقرة رقم (٣) الخاصة بمراجعة الخطط وتحديثها وفقاً لبيانات الأعطال في المرتبة الأخيرة بمتوسط (3.72)، وإن بقيت ضمن المستوى المرتفع، فإنها تُشير إلى وجود فرصة لتعزيز آليات التغذية الراجعة القائمة على تحليل البيانات التاريخية في تطوير خطط الصيانة. ويُستنتج بشكل عام أن أفراد العينة يُدركون وجود اهتمام ملموس بعمليات التخطيط والجدولة للأنشطة الصيانة الوقائية في الشركة.

ثانياً: البُعد الثاني – برامج الفحص والمعاينة الدورية

جدول (١٣): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد برامج الفحص والمعاينة

الدورية

الرقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	المستوى
5	تُنفَّذ جولات فحص دورية منتظمة للمعدات التعدينية وفقاً لجدول محددة مسبقاً	3.86	0.824	2	مرتفع
6	تشمل برامج الفحص الدوري استخدام أساليب متنوعة لتحليل الزيوت وقياس الاهتزازات والتصوير الحراري	3.68	0.907	4	مرتفع
7	تُوثَّق نتائج عمليات الفحص الدوري في سجلات إلكترونية تُسهِّل تتبُّع حالة المعدات عبر الزمن	3.91	0.789	1	مرتفع

8	تُستخدم نتائج الفحص الدوري في اتخاذ قرارات استباقية بشأن صيانة المعدات قبل حدوث الأعطال	3.74	0.856	3	مرتفع
	المتوسط العام للبُعد	3.80	0.751	—	مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يُظهر الجدول (١٣) أن بُعد (برامج الفحص والمعاينة الدورية) حقق متوسطاً حسابياً عاماً (٣,٨٠) بانحراف معياري (0.751)، ضمن مستوى الموافقة المرتفع. وقد تصدرت الفقرة رقم (٧) المتعلقة بتوثيق نتائج الفحص في سجلات إلكترونية بمتوسط (٣,٩١)، وهو ما يدل على أن شركة معادن تعتمد أنظمة توثيق رقمية فعالة تُساعد في تتبع الحالة التشغيلية للمعدات. بينما جاءت الفقرة رقم (٦) المتعلقة بتنوع أساليب الفحص التقني في المرتبة الأخيرة بمتوسط (٣,٦٨)، مما قد يُشير إلى أن بعض المواقع التشغيلية تعتمد على الفحص البصري التقليدي أكثر من الأساليب التقنية المتقدمة كتحليل الاهتزازات والتصوير الحراري. ويعكس هذا المستوى المرتفع إجمالاً أهمية برامج الفحص الدوري كركيزة أساسية في منظومة الصيانة الوقائية بالشركة.

ثالثاً: البُعد الثالث – تدريب وتأهيل الكوادر الفنية

جدول (١٤): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية ل فقرات بُعد تدريب وتأهيل الكوادر الفنية

الرقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	المستوى
9	توفر الشركة برامج تدريبية متخصصة للفنيين في مجال الصيانة الوقائية للمعدات التعدينية	3.62	0.934	3	متوسط

10	يتم تأهيل الكوادر الفنية على استخدام أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS) والتقنيات الحديثة	3.78	0.861	1	مرتفع
11	تُقيّم الاحتياجات التدريبية للفنيين دورياً بناءً على تحليل فجوات الكفاءات ومتطلبات العمل المتجددة	3.54	0.968	4	متوسط
12	تُسهّم برامج التأهيل في تمكين الفنيين من تشخيص الأعطال المحتملة واتخاذ إجراءات وقائية مبكرة	3.71	0.892	2	مرتفع
	المتوسط العام للبُعد	3.66	0.803	—	متوسط

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يوضح الجدول (١٤) أن بُعد (تدريب وتأهيل الكوادر الفنية) جاء بمتوسط حسابي عام (٣,٦٦) بانحراف معياري (٠,٨٠٣)، وهو ما يقع على الحد الفاصل بين المستويين المتوسط والمرتفع مع ميل نحو المتوسط. وقد تصدّرت الفقرة رقم (١٠) المتعلقة بتأهيل الكوادر على أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة بمتوسط (٣,٧٨)، مما يُشير إلى اهتمام الشركة بالجانب التقني في التأهيل. في حين حصلت الفقرة رقم (١١) الخاصة بتقييم الاحتياجات التدريبية دورياً على أدنى متوسط بلغ (٣,٥٤)، وهو ما قد يكشف عن حاجة إلى تبني منهجيات أكثر انتظاماً في رصد الفجوات التدريبية. ويُفسّر هذا المستوى المتوسط بأن التحولات التقنية المتسارعة في مجال الصيانة تفرض متطلبات تدريبية متجددة قد تفوق القدرة الاستيعابية الحالية لبرامج التأهيل.

رابعاً: البُعد الرابع – استخدام التقنيات الحديثة (أنظمة المراقبة الذكية وإنترنت الأشياء)

جدول (١٥): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد استخدام التقنيات الحديثة

الرقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	المستوى
13	تستخدم الشركة أنظمة مراقبة ذكية قائمة على أجهزة الاستشعار لرصد حالة المعدات آنياً	3.58	0.942	3	متوسط
14	تُوظف تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) في جمع البيانات التشغيلية وتحليلها لدعم قرارات الصيانة	3.71	0.879	1	مرتفع
15	تعتمد الشركة على أنظمة الذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها	3.46	0.983	4	متوسط
16	يتم دمج مخرجات التقنيات الحديثة مع أنظمة إدارة الصيانة لاتخاذ إجراءات استباقية مؤتمتة	3.63	0.915	2	متوسط
	المتوسط العام للبُعد	3.60	0.839	—	متوسط

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يتبين من الجدول (١٥) أن بُعد (استخدام التقنيات الحديثة) سجّل متوسطاً حسابياً عاماً (٣,٦٠) بانحراف معياري (0.839)، ضمن المستوى المتوسط. وقد نالت الفقرة رقم (١٤) المتعلقة بتوظيف تقنيات إنترنت الأشياء أعلى متوسط بلغ (٣,٧١)، مما يدل على بدء تبني هذه التقنية في بعض العمليات التشغيلية. بينما حصلت الفقرة رقم (١٥) الخاصة بالذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة على أدنى متوسط (٣,٤٦)، وهو ما

يعكس أن هذه التقنيات لا تزال في مراحلها الأولى داخل منظومة الصيانة بالشركة. ويُشير هذا المستوى المتوسط إجمالاً إلى أن هناك فرصة واعدة لتعزيز الاستثمار في التقنيات الذكية بما يدعم التحول نحو الصيانة التنبؤية ويُسهّم في خفض معدلات الأعطال غير المخططة.

خامساً: البُعد الخامس – إدارة قطع الغيار وتوافرها

جدول (١٦): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد إدارة قطع الغيار وتوافرها

الرقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	المستوى
17	تحتفظ الشركة بمخزون كافٍ من قطع الغيار الحرجة لضمان سرعة الاستجابة عند الحاجة	3.83	0.838	2	مرتفع
18	يتم تصنيف قطع الغيار وفقاً لمعايير الحرجية ومعدلات الاستهلاك لتحديد أولويات التوريد	3.92	0.794	1	مرتفع
19	تعتمد الشركة نظاماً محوسباً لإدارة المخزون يربط بين احتياجات الصيانة ومستويات التوريد	3.69	0.876	4	مرتفع
20	تُراجع سياسات التوريد دورياً بالتنسيق بين أقسام الصيانة والمشتريات لتفادي نفاد القطع الأساسية	3.77	0.851	3	مرتفع
	المتوسط العام للبُعد	3.80	0.762	—	مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يُظهر الجدول (١٦) أن بُعد (إدارة قطع الغيار وتوافرها) حقق متوسطاً حسابياً عاماً (٣,٨٠) بانحراف معياري (0.762)، ضمن مستوى الموافقة المرتفع. وقد جاءت الفقرة رقم (١٨) المتعلقة بتصنيف قطع الغيار وفقاً لمعايير الحرجية في المرتبة الأولى بمتوسط (3.92)، مما يعكس وعياً إدارياً بأهمية ترتيب الأولويات في سلسلة الإمداد. فيما حلت الفقرة رقم (١٩) المتعلقة بالنظام المحوسب لإدارة المخزون أخيراً بمتوسط (٣,٦٩)، وهو ما قد يُشير إلى حاجة لتعزيز التكامل الرقمي بين أنظمة إدارة المخزون وأنظمة إدارة الصيانة. ويدل المستوى المرتفع إجمالاً على أن شركة معادن تُولي عناية بتوفير قطع الغيار الأساسية لتسريع عمليات الصيانة وتقليل فترات التوقف.

سادساً: ملخص التحليل الوصفي للمتغير المستقل (أنظمة الصيانة الوقائية)

جدول (١٧): ملخص المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لأبعاد المتغير المستقل

المستوى	الرتبة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	البُعد
مرتفع	1	0.736	3.89	تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية
مرتفع	2	0.751	3.80	برامج الفحص والمعاينة الدورية
مرتفع	3	0.762	3.80	إدارة قطع الغيار وتوافرها
متوسط	4	0.803	3.66	تدريب وتأهيل الكوادر الفنية
متوسط	5	0.839	3.60	استخدام التقنيات الحديثة
مرتفع	—	0.714	3.75	المتوسط العام للمتغير المستقل

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يتضح من الجدول (١٧) أن المتغير المستقل (أنظمة الصيانة الوقائية) حصل على متوسط حسابي عام بلغ (٣,٧٥) بانحراف معياري (٠,٧١٤)، وهو ما يُصنّف ضمن مستوى الموافقة المرتفع. وقد احتل بُعد (تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية) المرتبة الأولى بمتوسط (٣,٨٩)، مما يعكس أن التخطيط والجدولة يمثلان الركيزة الأقوى في منظومة الصيانة الوقائية بالشركة. بينما جاء بُعد (استخدام التقنيات الحديثة)

في المرتبة الأخيرة بمتوسط (٣,٦٠)، ويُفسَّر ذلك بأن تبني التقنيات الذكية يتطلب استثمارات رأسمالية كبيرة وكوادر بشرية متخصصة وبنية تحتية رقمية متقدمة، وهو ما يستغرق وقتاً أطول مقارنة بالممارسات التقليدية. ويُلاحظ أن البُعدين اللذين حصلا على مستوى متوسط هما الأكثر ارتباطاً بالعنصر البشري والتقني، مما يُوحى بأن الفجوة تكمن في الكفاءات والبنية التقنية أكثر منها في الإجراءات والأنظمة الإدارية.

سابعاً: التحليل الوصفي للمتغير التابع – تقليل الأعطال غير المخططة

جدول (١٨): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المتغير التابع

الرقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	المستوى
21	أسهمت أنظمة الصيانة الوقائية في خفض عدد الأعطال المفاجئة للمعدات التعدينية بشكل ملحوظ	3.87	0.826	3	مرتفع
22	انخفضت حالات التوقف غير المخطط للمعدات منذ تطبيق برامج الصيانة الوقائية المنتظمة	3.96	0.781	1	مرتفع
23	ارتفع مستوى جاهزية المعدات التشغيلية نتيجة الالتزام بجدول الصيانة الوقائية	3.74	0.869	6	مرتفع
24	تراجعت نسبة التوقفات المفاجئة التي تؤثر سلباً على خطط الإنتاج اليومية	3.82	0.843	4	مرتفع
25	أسهم تنفيذ الصيانة الوقائية وفق الجدول المعتمد في استقرار معدلات الإنتاج	3.91	0.798	2	مرتفع

الرقم	الفقرة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الرتبة	المستوى
26	تحسّنت سرعة إنجاز عمليات الصيانة التصحيحية بفضل التخطيط الوقائي المسبق	3.68	0.894	8	مرتفع
27	انخفض معدل تكرار الأعطال على المعدة ذاتها بعد تطبيق بروتوكولات الصيانة الوقائية	3.79	0.857	5	مرتفع
28	أتاحت التقنيات الحديثة المستخدمة في الصيانة القدرة على التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها	3.63	0.918	10	متوسط
29	أسهم التحليل الدوري لبيانات التشغيل في الكشف المبكر عن مؤشرات التدهور في أداء المعدات	3.71	0.882	7	مرتفع
30	انخفض متوسط زمن الإصلاح (MTTR) للمعدات المشمولة ببرامج الصيانة الوقائية	3.58	0.937	12	متوسط
31	تحسّن مؤشر متوسط الوقت بين الأعطال (MTBF) للمعدات بعد تعزيز ممارسات الصيانة الوقائية	3.66	0.901	9	متوسط
32	ارتفع مستوى الموثوقية التشغيلية الكلية لمنظومة المعدات في المواقع التعدينية	3.61	0.924	11	متوسط
	المتوسط العام للمتغير التابع	3.75	0.762	—	مرتفع

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يُظهر الجدول (١٨) أن المتغير التابع (تقليل الأعطال غير المخططة) حقق متوسطاً حسابياً عاماً بلغ (٣,٧٥) بانحراف معياري (٠,٧٦٢)، وهو ما يقع ضمن المستوى المرتفع. وقد تصدّرت الفقرة رقم (22) المتعلقة بانخفاض حالات التوقف غير المخطط بمتوسط (٣,٩٦)، يليها الفقرة رقم (٢٥) الخاصة باستقرار معدلات الإنتاج بمتوسط (٣,٩١)، مما يُشير إلى أن أفراد العينة يلمسون أثراً إيجابياً مباشراً للصيانة الوقائية على انتظام سير العمليات التشغيلية. بينما جاءت الفقرة رقم (٣٠) المتعلقة بانخفاض متوسط زمن الإصلاح (MTTR) في المرتبة الأخيرة بمتوسط (٣,٥٨)، تليها الفقرة رقم (٣٢) الخاصة بالموثوقية التشغيلية الكلية بمتوسط (3.61)، وكلتاهما ضمن المستوى المتوسط. ويُفسّر ذلك بأن تحسين مؤشرات الموثوقية وزمن الإصلاح يرتبط بشكل وثيق بمستوى تبني التقنيات الحديثة والقدرات التنبؤية التي لا تزال في طور التطوير كما أظهر تحليل البُعد الرابع من المتغير المستقل. ويُستنتج بشكل عام أن أفراد العينة يُقرّون بتحسّن ملحوظ في مستوى الحد من الأعطال غير المخططة، مع حاجة إلى تعزيز الجوانب المرتبطة بالتنبؤ والموثوقية.

٣,٤ اختبار فرضيات الدراسة

اختبار الفرضية الرئيسة

نص الفرضية: "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لأنظمة الصيانة الوقائية بأبعادها المختلفة (تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية، برامج الفحص والمعاينة الدورية، تدريب وتأهيل الكوادر الفنية، استخدام التقنيات الحديثة، إدارة قطع الغيار وتوافرها) على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات مناجم الشركة السعودية للتعدين (معادن)".

للتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Regression) بهدف قياس تأثير أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية (كعوامل مستقلة) على تقليل الأعطال غير المخططة (كعامل تابع). وقد جاءت نتائج التحليل كما يلي:

جدول (١٩): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال غير

المخططة

المتغيرات المستقلة	معاملات الانحدار	قيمة اختبار	مستوى الدلالة
	(B)	T	(Sig.)
(Constant) المقدار الثابت	0.487	3.082	0.002**
تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية	0.241	5.128	0.000**
برامج الفحص والمعاينة الدورية	0.198	4.500	0.000**
تدريب وتأهيل الكوادر الفنية	0.168	3.652	0.000**
استخدام التقنيات الحديثة	0.187	3.896	0.000**
إدارة قطع الغيار وتوافرها	0.152	3.535	0.001**
معامل الارتباط = ٠,٨٧٤	معامل التحديد = ٠,٧٦٤		
قيمة الاختبار F = 129.438	القيمة الاحتمالية = ٠,٠٠٠		

**دالة عند مستوى (0.01)

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

تُشير نتائج تحليل الانحدار المتعدد الموضحة في الجدول (١٩) إلى وجود علاقة تأثيرية دالة إحصائياً بين أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية كمتغيرات مستقلة، وتقليل الأعطال غير المخططة كمتغير تابع. فقد بلغ معامل التحديد (R^2) قيمة قدرها (٠,٧٦٤)، وهي نسبة مرتفعة تدل على أن (٧٦,٤٪) من التباين في مستوى تقليل الأعطال غير المخططة في معدات مناجم شركة معادن يُمكن تفسيره من خلال أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية الخمسة مجتمعة، فيما تُعزى النسبة المتبقية (٢٣,٦٪) إلى عوامل أخرى لم تتضمنها الدراسة الحالية. كما تُشير قيمة معامل الارتباط ($R = 0.874$) إلى وجود ارتباط قوي وموجب بين المتغيرات

المدرسة، وقد بلغت قيمة اختبار ($F = 129.438$) بمستوى دلالة ($\text{Sig.} = 0.000$)، وهي دالة إحصائياً عند مستوى (0.01) (مما يؤكد معنوية النموذج ككل).

أما على مستوى الأبعاد الفردية، فقد تبين أن بُعد "تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية" هو الأكثر تأثيراً على تقليل الأعطال غير المخططة، حيث بلغ معامل الانحدار له ($B = 0.241$)، وبلغت قيمة ($T(5.128)$) بدلالة معنوية عالية ($\text{Sig.} = 0.000$) ويؤكد ذلك الدور المحوري الذي يلعبه التخطيط المهني والجدولة الدقيقة للأنشطة الصيانة في الحد من حالات التوقف المفاجئ وضمان استمرارية التشغيل.

كما أظهرت النتائج أن بُعد "برامج الفحص والمعاينة الدورية" ($B = 0.198$) "وبُعد" استخدام التقنيات الحديثة ($B = 0.187$) "يساهمان أيضاً بشكل دال إحصائياً في تفسير التباين في تقليل الأعطال غير المخططة، مما يعكس أهمية الرصد المنتظم لحالة المعدات وتوظيف التقنيات الذكية في تعزيز القدرة الاستباقية للمنظومة الصيانة.

في حين أظهر بُعد "تدريب وتأهيل الكوادر الفنية" ($B = 0.168$) "وبُعد" إدارة قطع الغيار وتوافرها" ($B = 0.152$) أثراً أقل نسبياً لكنهما لا يزالان ذوي دلالة إحصائية عالية ($\text{Sig.} = 0.000$) و ($\text{Sig.} = 0.001$) على التوالي)، مما يُشير إلى أن تعزيز هذين البُعدين يمثل فرصة لتحقيق تحسين متكامل في منظومة تقليل الأعطال غير المخططة.

وبناءً على ذلك، تؤكد هذه النتائج صحة الفرضية الرئيسة للدراسة بوجود أثر ذي دلالة إحصائية لأنظمة الصيانة الوقائية بأبعادها مجتمعة على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات مناجم شركة معادن.

اختبار الفرضيات الفرعية

✓ الفرضية الفرعية الأولى "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتخطيط وجدولة الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات مناجم شركة معادن".

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Linear

Regression Test)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (٢٠): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية على

تقليل الأعطال غير المخططة

المتغير التابع	معامل الارتباط r	معامل التحديد R ²	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	Beta	T	Sig. t
تقليل الأعطال غير المخططة	0.691	0.477	1	186.214	0.000	تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية	0.614	0.045	0.691	13.646	0.000

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

وللتحقق من هذه الفرضية، تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear

Regression) لقياس تأثير "تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية" باعتباره أحد أبعاد أنظمة الصيانة الوقائية

على "تقليل الأعطال غير المخططة". وقد جاءت النتائج الإحصائية كما هو موضح في الجدول (١٦)، حيث

بلغ معامل الارتباط ($r = 0.691$)، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة متوسطة إلى قوية بين المتغيرين.

كما بلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.477$)، مما يُشير إلى أن (٤٧,٧٪) من التباين في مستوى تقليل

الأعطال غير المخططة يُمكن تفسيره من خلال متغير تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية منفرداً، دون

تدخل بقية الأبعاد الأخرى.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA)، نجد أن قيمة F المحسوبة بلغت (١٨٦,٢١٤)

بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي قيمة دالة إحصائياً عند مستوى (٠,٠١)، مما يعزز من دلالة النموذج

ككل في تفسير العلاقة بين المتغيرين.

أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير ($B = 0.614$) ، بقيمة ($T = 13.646$) ، وهي أيضاً دالة عند مستوى ($\text{Sig.} = 0.000$)، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.614) في مستوى تقليل الأعطال غير المخططة، وبذلك تُقبل الفرضية الفرعية الأولى.

✓ الفرضية الفرعية الثانية " يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لبرامج الفحص والمعاينة الدورية على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات مناجم شركة معادن".

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Linear Regression Test)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (٢١): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر برامج الفحص والمعاينة الدورية على تقليل

الأعطال غير المخططة

المتغير التابع	معامل الارتباط	معامل التحديد	درجة الحرية	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	Beta	T	Sig. t
تقليل الأعطال غير المخططة	0.654	0.428	1	152.673	0.000	برامج الفحص والمعاينة الدورية	0.573	0.046	0.654	12.356	0.000

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يتضح من الجدول (٢١) أن معامل الارتباط بين برامج الفحص والمعاينة الدورية وتقليل الأعطال غير المخططة بلغ ($r = 0.654$) ، وهو ما يُشير إلى علاقة ارتباط موجبة متوسطة القوة. وبلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.428$) ، مما يعني أن (٤٢,٨٪) من التباين في تقليل الأعطال غير المخططة يُفسَّر بتأثير برامج الفحص والمعاينة الدورية وحدها.

وقد بلغت قيمة F المحسوبة (١٥٢,٦٧٣) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000) ، مما يؤكد معنوية النموذج إحصائياً. كما بلغ معامل الانحدار (B = 0.573) بقيمة (T = 12.356) ودلالة (Sig. = 0.000) ، ما يدل على أن كل زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى تطبيق برامج الفحص الدوري تُفضي إلى ارتفاع بمقدار (٠,٥٧٣) في مستوى تقليل الأعطال غير المخططة. ويُستخلص من ذلك أن الالتزام ببرامج الفحص المنتظمة يُسهم بدرجة عالية في الكشف المبكر عن بوادر التدهور ومنع تحولها إلى أعطال مفاجئة، وبناءً عليه تُقبل الفرضية الفرعية الثانية.

✓ **الفرضية الفرعية الثالثة:** يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لتدريب وتأهيل الكوادر الفنية على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات مناجم شركة معادن".

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Linear Regression Test)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (٢٢): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر تدريب وتأهيل الكوادر الفنية على تقليل

الأعطال غير المخططة

المتغير التابع	معامل الارتباط r	معامل التحديد R ²	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	Beta	T	Sig. t
تقليل الأعطال غير المخططة	0.621	0.386	1	128.347	0.000	تدريب وتأهيل الكوادر الفنية	0.528	0.047	0.621	11.329	0.000

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يُظهر الجدول (٢٢) أن معامل الارتباط بين تدريب وتأهيل الكوادر الفنية وتقليل الأعطال غير المخططة بلغ ($r = 0.621$) ، وهو ارتباط موجب متوسط القوة. وبلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.386$) ، مما يدل على أن (٣٨,٦٪) من التباين في تقليل الأعطال يعود إلى متغير التدريب والتأهيل.

وقد جاءت قيمة F المحسوبة (١٢٨,٣٤٧) بمستوى دلالة ($\text{Sig.} = 0.000$) ، مما يدعم معنوية النموذج. كما بلغ معامل الانحدار ($B = 0.528$) بقيمة ($T = 11.329$) ودلالة ($\text{Sig.} = 0.000$) ، أي أن أي ارتفاع بمقدار وحدة واحدة في مستوى تدريب وتأهيل الكوادر الفنية يُسهم في زيادة بمقدار (٠,٥٢٨) في تقليل الأعطال غير المخططة. ويُعزى ذلك إلى أن الكوادر المدربة تكون أقدر على تشخيص المشكلات المبكرة وتنفيذ إجراءات الصيانة الوقائية بكفاءة أعلى، مما ينعكس إيجاباً على خفض معدلات الأعطال المفاجئة، وبذلك تُقبل الفرضية الفرعية الثالثة.

✓ الفرضية الفرعية الرابعة " :يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لاستخدام التقنيات الحديثة (أنظمة المراقبة الذكية وإنترنت الأشياء) على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات مناجم شركة معادن".

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Linear Regression Test)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (٢٣): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر استخدام التقنيات الحديثة على تقليل

الأعطال غير المخططة

المتغير التابع	معامل الارتباط	معامل التحديد	درجة الحرية	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	Beta	T	Sig. t
تقليل الأعطال	0.713	0.508	1	210.856	0.000	استخدام التقنيات الحديثة	0.647	0.045	0.713	14.521	0.000

											غير المخططة
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------------

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يكشف الجدول (٢٣) أن معامل الارتباط بين استخدام التقنيات الحديثة وتقليل الأعطال غير المخططة بلغ ($r = 0.713$) ، وهو أعلى معامل ارتباط بين جميع أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع، مما يُشير إلى علاقة ارتباط موجبة قوية. وبلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.508$) ، أي أن (٨٠,٨٪) من التباين في تقليل الأعطال غير المخططة يُفسَّر بتأثير استخدام التقنيات الحديثة وحدها، وهي أعلى نسبة تفسيرية مقارنة ببقية الأبعاد.

وقد بلغت قيمة F المحسوبة (٢١٠,٨٥٦) بمستوى دلالة ($\text{Sig.} = 0.000$) ، مما يؤكد القوة التفسيرية العالية للنموذج. كما بلغ معامل الانحدار ($B = 0.647$) بقيمة ($T = 14.521$) ودلالة ($\text{Sig.} = 0.000$) ، ما يعني أن كل زيادة بمقدار وحدة واحدة في مستوى توظيف التقنيات الحديثة تُحدث ارتفاعاً بمقدار (٠,٦٤٧) في تقليل الأعطال غير المخططة. ويتسق هذا مع الأدبيات التي تؤكد أن أنظمة المراقبة الذكية وإنترنت الأشياء توفر بيانات آنية تُمكن من التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها واتخاذ إجراءات وقائية استباقية، وبناءً عليه تُقبل الفرضية الفرعية الرابعة.

✓ الفرضية الفرعية الخامسة "يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى الدلالة ($\alpha \leq 0.05$) لإدارة قطع الغيار وتوافرها على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات مناجم شركة معادن".

للتحقق من صحة هذا الفرض تم استخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط (Linear

Regression Test)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (٢٤): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر إدارة قطع الغيار وتوافرها على تقليل

الأعطال غير المخططة

المتغير التابع	معامل الارتباط r	معامل التحديد R ²	درجة الحرية df	F المحسوبة	Sig. F	المتغير المستقل	B	الخطأ المعياري	Beta	T	Sig. t
تقليل الأعطال غير المخططة	0.638	0.407	1	140.128	0.000	إدارة قطع الغيار وتوافرها	0.549	0.046	0.638	11.838	0.000

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

يتضح من الجدول (٢٤) أن معامل الارتباط بين إدارة قطع الغيار وتوافرها وتقليل الأعطال غير المخططة بلغ ($r = 0.638$) ، مما يدل على وجود علاقة ارتباط موجبة متوسطة القوة. وبلغت قيمة معامل التحديد ($R^2 = 0.407$) ، أي أن (٧٠,٤٪) من التباين في تقليل الأعطال غير المخططة يمكن تفسيره من خلال فاعلية إدارة قطع الغيار.

وقد جاءت قيمة F المحسوبة (١٤٠,١٢٨) بمستوى دلالة ($\text{Sig.} = 0.000$) ، مما يعزز معنوية النموذج. كما بلغ معامل الانحدار ($B = 0.549$) بقيمة ($T = 11.838$) ودلالة ($\text{Sig.} = 0.000$) ، مما يدل على أن كل تحسّن بمقدار وحدة واحدة في مستوى إدارة قطع الغيار يُفضي إلى ارتفاع بمقدار (٠,٥٤٩) في تقليل الأعطال غير المخططة. ويُعزى ذلك إلى أن توافر قطع الغيار الحرجة في الوقت المناسب يُقلّص فترات التوقف المرتبطة بانتظار القطع ويُمكن فرق الصيانة من التدخل الفوري، وبذلك تُقبل الفرضية الفرعية الخامسة.

الفصل الخامس: النتائج والتوصيات

١,٥ نتائج الدراسة

أثبتت نتائج تحليل الانحدار المتعدد وجود أثر ذي دلالة إحصائية عند مستوى ($\alpha \leq 0.05$) لأنظمة الصيانة الوقائية بأبعادها الخمسة مجتمعة على تقليل الأعطال غير المخططة، حيث بلغ معامل الارتباط ($R = 0.874$) ومعامل التحديد ($R^2 = 0.764$)، مما يعني أن أبعاد الصيانة الوقائية مجتمعة تُفسّر ما نسبته (٧٦,٤٪) من التباين في مستوى تقليل الأعطال غير المخططة. ويُعزى ذلك إلى أن الصيانة الوقائية بوصفها نظاماً إدارياً وتقنياً متكاملًا لا تعمل أبعاده بمعزل عن بعضها، بل يُغذّي كل بُعد فاعلية الأبعاد الأخرى في سلسلة تآزرية تبدأ من التخطيط وتمر بالفحص والتدريب والتقنية وتنتهي بتوافر قطع الغيار، مما يُنتج أثراً كلياً يتجاوز مجموع التأثيرات المنفردة. وتتسق هذه النتيجة مع ما أشار إليه Gomes et al. (2023) من أن الصيانة الوقائية كبرنامج منهجي متكامل يُحقق تحسناً جوهرياً في مؤشرات الموثوقية، كما تتوافق مع ما طرحه Thamma et al. (2025) بشأن التأثير التحويلي لدمج عناصر الصيانة الوقائية في منظومة واحدة مدعومة بتقنيات الثورة الصناعية الرابعة. كذلك تتقاطع هذه النتيجة مع دراسة النعيمي والعبادي (٢٠٢٢) التي تناولت منظومة الصيانة الإنتاجية الشاملة كنظام متكامل وأكدت على أهمية التكامل بين مكوناتها في تحقيق الإنتاجية الخضراء.

أظهرت النتائج وجود أثر دال إحصائياً لتخطيط وجدولة الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال غير المخططة، بمعامل ارتباط ($r = 0.691$) ومعامل تحديد ($R^2 = 0.477$)، كما حقق هذا البُعد أعلى معامل انحدار في النموذج المتعدد ($B = 0.241$) ويُفسّر ذلك بأن التخطيط المسبق يُتيح توزيع الموارد البشرية والمادية بكفاءة وتحديد الأولويات وفقاً لدرجة حرجية المعدات، فضلاً عن أن الجدولة المنتظمة تمنع تراكم الاحتياجات الصيانية الذي يُفضي إلى أعطال مفاجئة. وقد جاء هذا البُعد في المرتبة الأولى من حيث المتوسط الحسابي (٣,٨٩) في التحليل الوصفي، مما يعكس إدراك العاملين لأهمية التخطيط كركيزة أساسية. وتتفق هذه النتيجة مع ما أكدته دراسة Li et al. (2020) من أن النمذجة الرياضية لتحسين فترات

الصيانة الوقائية تُسهم في رفع كفاءة الجدولة وخفض الأعطال، كما تتوافق مع دراسة Khalili et al. (2023) التي ربطت بين التخطيط المنهجي للصيانة الوقائية وتحسين مؤشر الفعالية الكلية للمعدات (OEE) في البيئات الصناعية.

كشفت النتائج عن وجود أثر دال إحصائياً لبرامج الفحص والمعاينة الدورية على تقليل الأعطال غير المخططة، بمعامل ارتباط ($r = 0.654$) ومعامل تحديد ($R^2 = 0.428$) ويرجع ذلك إلى أن الفحص الدوري يُمثل خط الدفاع الأول في الكشف المبكر عن بوادر التدهور في أداء المعدات قبل تحولها إلى أعطال كاملة، حيث تُوفر أساليب الفحص المتنوعة كتحليل الزيوت وقياس الاهتزازات والتصوير الحراري بيانات تشخيصية تُمكن من اتخاذ قرارات صيانة استباقية. وتندرج هذه النتيجة مع ما أوضحه Gomes et al. (2023) من أن تطبيق روتينات الصيانة الوقائية القائمة على الفحص المنتظم أدى إلى تحسينات جوهرية في مؤشرات الموثوقية، كما تتوافق مع دراسة القبي ونصر (2021) التي أبرزت دور الصيانة الوقائية بما فيها الفحص الدوري في تعزيز كفاءة الإنتاج في المنشآت الصناعية.

أثبتت النتائج وجود أثر دال إحصائياً لتدريب وتأهيل الكوادر الفنية على تقليل الأعطال غير المخططة، بمعامل ارتباط ($r = 0.621$) ومعامل تحديد ($R^2 = 0.386$) غير أن هذا البُعد حصل على متوسط حسابي (3.66) في التحليل الوصفي وهو عند الحد الفاصل بين المستويين المتوسط والمرتفع، مما يكشف عن فجوة بين أهمية التدريب من الناحية التأثيرية ومستوى تطبيقه الفعلي. ويُفسّر الأثر الدال بأن الكوادر الفنية المؤهلة تمتلك القدرة على تشخيص الأعطال المحتملة بدقة وتنفيذ إجراءات الصيانة وفقاً للمعايير الفنية المعتمدة، مما يُقلّل من الأخطاء البشرية التي تُعدّ من الأسباب الجذرية للأعطال غير المخططة. وتتفق هذه النتيجة مع ما أشارت إليه دراسة Castillo Correa (2021) من أن تدريب الكوادر الفنية يُمثل ركيزة أساسية في نجاح خطط الصيانة الوقائية، كما تتسق مع دراسة حمودة وخدام (2022) التي تناولت أثر نظام إدارة الصيانة المحوسبة على أداء العاملين وأكدت على أهمية تأهيل العنصر البشري للتعامل مع الأنظمة الحديثة.

أظهرت النتائج أن بُعد استخدام التقنيات الحديثة يمتلك أقوى ارتباط فردي بتقليل الأعطال غير المخططة من بين جميع الأبعاد، بمعامل ارتباط ($r = 0.713$) ومعامل تحديد ($R^2 = 0.508$) ، أي أن هذا البُعد وحده يُفسّر أكثر من نصف التباين في المتغير التابع. ويُعزى ذلك إلى أن تقنيات إنترنت الأشياء وأنظمة المراقبة الذكية توفر تدفقاً مستمراً من البيانات الآنية التي تُمكن من بناء نماذج تنبؤية قادرة على رصد أنماط التدهور في أداء المعدات قبل وصولها إلى نقطة الفشل. إلا أن المفارقة اللافتة هي أن هذا البُعد حصل على أدنى متوسط حسابي في التحليل الوصفي (3.60) ضمن المستوى المتوسط، مما يكشف عن فجوة واسعة بين الإمكانيات التأثيرية العالية لهذه التقنيات ومستوى تبنيها الفعلي في شركة معادن. وتتسق هذه النتيجة مع ما أكده Thamma et al. (2025) من أن تقنيات الثورة الصناعية الرابعة تُحوّل الصيانة من نهج زمني إلى نهج تنبؤي قائم على البيانات، كما تتوافق مع دراسة Nwulu et al. (2023) التي أوضحت أن تطبيقات تعلّم الآلة في الصيانة التنبؤية تُعزّز الكفاءة التشغيلية بشكل جوهري، وتتقاطع أيضاً مع ما طرحه El Khiate et al. (2025) و Anand et al. (2024) حول قدرة الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء على التنبؤ المبكر بالأعطال.

أكدت النتائج وجود أثر دال إحصائياً لإدارة قطع الغيار وتوافرها على تقليل الأعطال غير المخططة، بمعامل ارتباط ($r = 0.638$) ومعامل تحديد ($R^2 = 0.407$) ، ويُفسّر هذا الأثر بأن توافر قطع الغيار الحرجة في التوقيت المناسب يُقلّص الفجوة الزمنية بين اكتشاف الحاجة الصيانية وتنفيذ التدخل الفعلي، إذ أن كثيراً من حالات تفاقم الأعطال تعود إلى التأخر في الحصول على القطع اللازمة مما يُحوّل مشكلة بسيطة إلى عطل شامل. وقد حقق هذا البُعد متوسطاً حسابياً مرتفعاً (٣,٨٠) في التحليل الوصفي، مما يعكس اهتمام إدارة الشركة بضمان سلاسل الإمداد. وتتوافق هذه النتيجة مع ما أشار إليه West et al. (2024) من أهمية إدارة قطع الغيار كعنصر مكمل لاستراتيجية التحول من الصيانة التصحيحية إلى الوقائية، كما تتسق مع دراسة بيك وآخرون (٢٠٢٤) التي ربطت بين عناصر الرقابة على تكاليف الصيانة ومنها تكاليف المواد وقطع الغيار وبين تحسين الإنتاجية.

كشف التحليل الوصفي أن مستوى تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية في شركة معادن جاء مرتفعاً بشكل عام بمتوسط حسابي (3.75) ، مع تفاوت بين الأبعاد يعكس تبايناً في مستويات النضج. فقد تصدّر

بُعد التخطيط والجدولة (٣,٨٩) يليه بُعد الفحص الدوري وإدارة قطع الغيار (٣,٨٠ لكل منهما)، بينما جاء بُعد التدريب (٣,٦٦) والتقنيات الحديثة (٣,٦٠) في المستوى المتوسط. ويُفسّر هذا التفاوت بأن الأبعاد ذات الطبيعة الإجرائية والإدارية مثل التخطيط والجدولة وإدارة المخزون أكثر رسوخاً في الممارسة التنظيمية، في حين أن الأبعاد المرتبطة بالعنصر البشري والتقني تواجه تحديات التحول الرقمي ومتطلبات بناء الكفاءات المتخصصة. وقد انعكس هذا النمط على المتغير التابع الذي سجّل متوسطاً مرتفعاً (٣,٧٥) مع تراجع نسبي في الفقرات المتعلقة بالتنبؤ المبكر (٣,٦٣) و زمن الإصلاح (٣,٥٨) والموثوقية التشغيلية (٣,٦١)، وهي جوانب ترتبط ارتباطاً وثيقاً بمستوى تبني التقنيات الحديثة.

٢,٥ توصيات الدراسة

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

- ينبغي على إدارة شركة معادن تسريع تبني تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) وأنظمة المراقبة الذكية القائمة على أجهزة الاستشعار في جميع المواقع التعدينية، مع تخصيص ميزانيات استثمارية مرحلية لنشر البنية التحتية الرقمية اللازمة، نظراً لما أثبتته الدراسة من أن هذا البُعد يمتلك أعلى قدرة تفسيرية فردية لتقليل الأعطال غير المخططة.

العمل على بناء منصة تحليلات بيانات مركزية تستقبل مخرجات أجهزة الاستشعار وأنظمة المراقبة وتُوظّف خوارزميات تعلّم الآلة والذكاء الاصطناعي في بناء نماذج تنبؤية للأعطال، بحيث تنتقل الشركة تدريجياً من الصيانة الوقائية الزمنية إلى الصيانة التنبؤية القائمة على الحالة الفعلية للمعدات.

- إعداد برامج تدريبية منهجية ومستمرة للكوادر الفنية تُركّز على مهارات التشخيص التقني المتقدم واستخدام أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS) والتعامل مع مخرجات التقنيات الحديثة، مع تبني آلية دورية لتقييم الاحتياجات التدريبية وفقاً لتحليل فجوات الكفاءات ومتطلبات التحول الرقمي.

- تبني مقارنة إدارية شاملة تربط بين التخطيط والجدولة والفحص الدوري والتدريب والتقنيات وإدارة قطع الغيار ضمن منظومة واحدة متكاملة، وذلك من خلال إنشاء وحدة تنسيقية مركزية تتولى ضمان التناغم بين هذه المكونات وقياس أدائها بمؤشرات موحدة.
- تطوير آلية منهجية لمراجعة خطط الصيانة الوقائية وتحديثها دورياً استناداً إلى تحليل بيانات الأعطال التاريخية ومؤشرات الأداء التشغيلية، بحيث تتحول الخطط من وثائق ثابتة إلى أدوات ديناميكية تتكيف مع المعطيات الميدانية المتجددة.
- التوسع في استخدام أساليب الفحص غير التدميري كتحليل الاهتزازات والتصوير الحراري والتحليل الطيفي للزيوت في جميع المواقع التشغيلية، بدلاً من الاعتماد الأساسي على الفحص البصري التقليدي، مما يُعزّز دقة الكشف المبكر عن مؤشرات التدهور.
- ربط أنظمة إدارة المخزون بأنظمة إدارة الصيانة رقمياً عبر منصة موحدة تُمكن من التنبؤ باحتياجات قطع الغيار استناداً إلى جداول الصيانة وبيانات معدلات الاستهلاك التاريخية، مما يُقلّص فترات الانتظار ويمنع نفاد القطع الحرجة.
- اعتماد مؤشرات أداء معيارية لقياس فاعلية منظومة الصيانة الوقائية، مثل متوسط الوقت بين الأعطال (MTBF) ومتوسط زمن الإصلاح (MTTR) ونسبة التوافرية ومعدل الأعطال غير المخططة، مع متابعتها عبر لوحات قيادة رقمية تُتيح اتخاذ قرارات مبنية على البيانات.
- العمل على ترسيخ ثقافة الصيانة الاستباقية لدى جميع المستويات الوظيفية من المشغلين والفنيين حتى الإدارة العليا، بحيث يصبح كل موظف مسؤولاً عن رصد بوادر المشكلات والإبلاغ عنها، وذلك من خلال حملات توعوية وبرامج تحفيز مرتبطة بمؤشرات تقليل الأعطال.
- يُوصي الباحث بإجراء دراسات مستقبلية تتناول أثر الصيانة التنبؤية القائمة على الذكاء الاصطناعي في قطاع التعدين السعودي، ودراسة العوائد الاقتصادية المباشرة وغير المباشرة للاستثمار في التقنيات الذكية للصيانة، فضلاً عن دراسات مقارنة بين شركات التعدين الإقليمية والدولية في مستوى نضج منظومات الصيانة الوقائية.

Abstract

This study aims to examine the impact of preventive maintenance systems, with their various dimensions (planning and scheduling of preventive maintenance, periodic inspection and examination programs, training and qualification of technical staff, use of modern technologies such as smart monitoring systems and the Internet of Things, and spare parts management and availability), on reducing unplanned equipment failures at the mines of the Saudi Arabian Mining Company (Ma'aden). The study adopted a descriptive-analytical approach, utilizing a questionnaire consisting of (32) items distributed to a stratified random sample of (206) employees working in the maintenance, operations, engineering, and technical management departments. Data were processed using SPSS (Ver.26), and the statistical methods included means, standard deviations, Pearson correlation coefficient, and simple and multiple linear regression analysis. The results revealed a statistically significant impact at the level ($\alpha \leq 0.05$) of the combined preventive maintenance dimensions on reducing unplanned failures, with a correlation coefficient ($R = 0.874$) and a coefficient of determination ($R^2 = 0.764$). Furthermore, the dimension of modern technologies usage exhibited the strongest individual correlation with the dependent variable ($r = 0.713$), while its actual implementation level was moderate (3.60). The study recommended accelerating the adoption of smart technologies, intensifying specialized technical training programs, and enhancing the integration among the dimensions of the maintenance system to achieve the highest levels of operational reliability.

Keywords: Preventive Maintenance, Unplanned Failures, Internet of Things, Operational Reliability, Saudi Arabian Mining Company (Ma'aden).

المراجع

أولاً: المراجع العربية

✖ بيك، محمد ميلاد، اسميو، أحمد حميده، و حريشة، حمزة امحمد. (٢٠٢٤). تصميم برنامج لإجراء

الصيانة الوقائية باستخدام PLC و HMI. مجلة جامعة الزيتونة الدولية، ع ٢٩٦، ٣٠٦ - ٣٢٨. مسترجع

من <http://search.mandumah.com/Record/1540659>

✖ حمودة، فراس صالح فارس، و خدام، أمينة عبدالحليم. (2022). أثر نظام إدارة الصيانة المحوسبة

في أداء العاملين لدى شركات التشغيل والصيانة في الأردن من خلال إدارة الوقت كمتغير وسيط

(رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة عمان العربية، عمان. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1357527>

✖ عكلة، إخلاص ستار، و عبدالله، سوزان عباس. (٢٠٢٥). تأثير الصيانة الإنتاجية الشاملة في تحقيق

الإنتاجية الخضراء: دراسة استطلاعية لأراء عينة من الموظفين في محطة كهرباء جنوب بغداد الغازية

الأولى. مجلة الإدارة والاقتصاد، ع ١٤٩٦، ٥٥ - ٦٧. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1604573>

✖ القبي، الطيب محمد علي، و نصر، فرج علي عمار. (٢٠٢١). علاقة الصيانة بزيادة الكفاءة الإنتاجية

بمحطة كهرباء الخليج بمدينة سرت. مجلة آفاق اقتصادية، ع ١٤٦، ٢٢ - ٤٧. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1168091>

✖ القبي، الطيب محمد علي، و نصر، فرج علي عمار. (٢٠٢١). علاقة الصيانة بزيادة الكفاءة الإنتاجية

بمحطة كهرباء الخليج بمدينة سرت. مجلة آفاق اقتصادية، ع ١٤٦، ٢٢ - ٤٧. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1168091>

✖ محمد، محسن علي، و الجبوري، ميسر إبراهيم أحمد إبراهيم. (٢٠٢٥). مدى تطبيق مقاييس الجودة

في عمليات الصيانة وأثرها في تقليل الضائعات من الطاقة الكهربائية: دراسة استطلاعية في الشركة

العامية لتوزيع كهرباء الشمال فرع توزيع مركز نينوى. مجلة تكريت للعلوم الإدارية والاقتصادية،

مج ٢١، ع ٧٠، ١٤٥ - ١٦٣. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1606798>

✕ مكي، عبدالرحيم يوسف أحمد. (٢٠١٨). دور الصيانة الوقائية في الحفاظ على المباني الأثرية. مجلة

العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، ع ٩ ، ٤٣٦ - ٤٤٦. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/923403>

✕ النعيمي، حارث حسين علي، و العبادي، شهلة سالم خليل. (٢٠٢٢). دور الصيانة الإنتاجية الشاملة

في تحقيق الصيانة الخضراء: دراسة استطلاعية لأراء عينة من الأفراد العاملين في معمل ألبان الموصل

في العراق. تنمية الرافدين، مج ٤١، ع ١٣٦ ، ١٠٠ - ١٢٢. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1336644>

✕ النوييم، محمد فهاد، النوايسة، سيف عناد أحمد، و مصطفى، رمضان جبر محمد. (٢٠١٦). أثر

الرقابة على تكاليف الصيانة الوقائية المخططة في تحسين وتطوير الإنتاجية في شركة نفط الكويت

(رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة مؤتة، مؤتة. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/876159>

ثاننيا: المراجع الأجنبية

✕ Al-Duais, F. S., Mohamed, A., Jawa, T. M., & Sayed-Ahmed, N. (2022). Optimal Periods of Conducting Preventive Maintenance to Reduce Expected Downtime and Its Impact on Improving Reliability. Computational Intelligence and Neuroscience, 2022, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2022/7105526>

✕ Anand, K., Ananthajothi, K., & Vinodkumar, S. (2024, November). Machinelearnpro: Redefining Predictive Maintenance Through Data-Driven Approaches. In 2024 International Conference on Smart Technologies for Sustainable Development Goals (ICSTSDG) (pp. 1-7). IEEE

- ✘ Castillo Correa, T. A. (2021). Preventive maintenance to enhance the level of customer satisfaction in the automotive sector of Piura, Peru. 1(1), 20–30.
<https://doi.org/10.62319/concordia.v.1i1.2>
- ✘ Celestin, M. (2023). How predictive maintenance in logistics fleets is reducing equipment downtime and operational losses. *Brainae Journal of Business, Sciences and Technology (BJBST)*, 7(10), 1023-1033.
- ✘ El Khiate, M., Samri, H., Ech-Chhibat, M., & Znaidi, Z. (2025). Study of the Contribution of Predictive Maintenance for Diesel Engine Reliability Improvement. 1–6.
<https://doi.org/10.1109/iccsc66714.2025.11135347>
- ✘ Febriani, Z., Prasetyaningsih, E., & Muhammad, C. R. (2025). Penerapan Preventive Maintenance untuk Mereduksi Downtime Pada Mesin Punching. *Jurnal Riset Teknik Industri*, 23–32. <https://doi.org/10.29313/jrti.v5i1.6421>
- ✘ Gomes, C., Soares, J., Lucio, J., Ribeiro, L., Gallegos, R. A. P., & Gonçalves, R. (2023). Implementation of preventive maintenance routines and the “zero breakdowns by base condition” methodology in an organization. *MOJ Applied Bionics and Biomechanics*.
<https://doi.org/10.15406/mojabb.2023.07.00194>
- ✘ Khalili, A., Ismail, M. Y., & Ruzman, M. A. (2023). Planned preventive maintenance effects on overall equipment effectiveness: a case study in Malaysian industry. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 38(3), 332-360
- ✘ Li, R., Li, R., & Zhang, X. (2020). Preventive Maintenance Interval Optimization for Continuous Multistate Systems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020, 1–10.
<https://doi.org/10.1155/2020/2942940>
- ✘ Novarika, W., Arfah, M., & Khoir, R. A. (2024). Analysis of Preventive Maintenance on Forklifts and Reach Trucks by Calculating Mean Time Between Failure and Mean Time to

Repair at PT. DSV Solutions Indonesia. Proceeding of International Conference on Science and Technology UISU., 143–149. <https://doi.org/10.30743/x4ca2p37>

- ✕ Nwulu, E. O., Elete, T. Y., Erhueh, O. V., Akano, O. A., & Omomo, K. O. (2023). Machine learning applications in predictive maintenance: Enhancing efficiency across the oil and gas industry. *International Journal of Engineering Research Updates*, 5(1), 17-30
- ✕ Thamma, R., Olaniba, O. S., Romano, B., & Siddiqy, S. (2025). Industry 4.0-Driven Preventative Maintenance Optimization: A Strategic Path to Minimize Downtim. *International Journal Emerging Technology and Advanced Engineering*. https://doi.org/10.46338/ijetae0825_02
- ✕ West, J., Siddhpura, M., Evangelista, A., & Haddad, A. (2024). Improving equipment maintenance—switching from corrective to preventative maintenance strategies. *Buildings*, 14(11), 3581.
- ✕ Yasin, I., Kurniati, N., & Syairudin, B. (2021, February). Reducing unplanned downtime using predictive maintenance (PdM). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1072, No. 1, p. 012041). IOP Publishing

الملاحق

استمارة استبيان

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أخي الكريم / أختي الكريمة

تحية طيبة وبعد،

يقوم الباحثين بإجراء دراسة حول قياس أثر تطبيق أنظمة الصيانة الوقائية على تقليل الأعطال غير المخططة في معدات المناجم: دراسة ميدانية في الشركة السعودية للتعدين (معادن).

ونظراً لما لديكم من المعرفة العلمية والخبرة العملية ذات الصلة بموضوع البحث، نأمل الحصول منكم على العون والمساعدة في توفير المعلومات المناسبة لأغراض البحث، من خلال التكرم بإبداء رأيكم بالتأشير على الإجابة المناسبة من وجهة نظركم.

وأقدم لحضراتكم بجزيل الشكر والتقدير للمساهمة في جهدكم في تعبئة هذا الاستبيان علماً أن جميع البيانات التي سيتم الحصول عليها منكم ستعامل بسرية تامة، ولن تستخدم لغير أغراض هذا البحث، وسوف أزودكم بنتائج هذه الدراسة حال اكتمالها إن شاء الله.

وتفضلوا بقبول فائق التقدير والاحترام

أولاً: البيانات الشخصية

١- النوع الاجتماعي ذكر ☐ أنثى ☐

٢- الفئة العمرية ٣٠ سنة فأقل ☐ ٣٠ - ٤٠ سنة ☐
٤٠ - ٥٠ سنة ☐ ٥٠ سنة فأكثر ☐

٣- المؤهل العلمي ماجستير ☐ دبلوم ☐ بكالوريوس ☐
دكتوراه ☐

٤- سنوات الخبرة 5 سنوات فأقل ☐ من ٥ - ١٠ سنوات ☐
من 10 - 15 سنة ☐ أكثر من 15 سنة ☐

٥- المسي الوظيفي قسم الصيانة ☐ قسم التشغيل ☐
قسم الهندسة ☐ الإدارة الفنية ☐

ثانيا محاور الاستبيان

✿ المحور الأول: أنظمة الصيانة الوقائية، ضع إشارة (✓) في المربع المناسب لاختيارك:

أوافق بشدة					البعد
أوافق					معارض
محايد					معارض بشدة
معارض بشدة					معارض
البعد الأول: تخطيط وجدولة الصيانة الوقائية					
					تضع الشركة خططا زمنية واضحة ومحددة لتنفيذ أنشطة الصيانة الوقائية على المعدات التعدينية
					يتم جدولة عمليات الصيانة الوقائية بما يتوافق مع الطاقة التشغيلية ومتطلبات الإنتاج
					تُراجع خطط الصيانة الوقائية دورياً وتُحدَّث وفقاً لبيانات الأعطال السابقة والمؤشرات التشغيلية
					تُحدّد أولويات تنفيذ الصيانة الوقائية بناءً على درجة حرجية المعدات وأثرها على استمرارية الإنتاج
البعد الثاني: برامج الفحص والصيانة الدورية					
					تُنقَّذ جولات فحص دورية منتظمة للمعدات التعدينية وفقاً لجدول محددة مسبقاً

البعد					أو وافق بشدة	أو افق بشدة	محايد	معارض بشدة	معارض بشدة
تشمل برامج الفحص الدوري استخدام أساليب متنوعة كتحليل الزيوت وقياس الاهتزازات والتصوير الحراري									
تُوثَّق نتائج عمليات الفحص الدوري في سجلات إلكترونية تُسهِّل تتبُّع حالة المعدات عبر الزمن									
تُستخدم نتائج الفحص الدوري في اتخاذ قرارات استباقية بشأن صيانة المعدات قبل حدوث الأعطال									
البعد الثالث: تدريب وتأهيل الكوادر الفنية									
توفر الشركة برامج تدريبية متخصصة للفنيين في مجال الصيانة الوقائية للمعدات التعدينية									
يتم تأهيل الكوادر الفنية على استخدام أنظمة إدارة الصيانة المحوسبة (CMMS) والتقنيات الحديثة									
تُقيَّم الاحتياجات التدريبية للفنيين دورياً بناءً على تحليل فجوات الكفاءات ومتطلبات العمل المتجددة									
تُسهِّم برامج التأهيل في تمكين الفنيين من تشخيص الأعطال المحتملة واتخاذ إجراءات وقائية مبكرة									

البعد					أوافق	أوافق	محايد	معارض	معارض
بشدة					بشدة	بشدة	بشدة	بشدة	بشدة
البعد الرابع: استخدام التقنيات الحديثة									
تستخدم الشركة أنظمة مراقبة ذكية قائمة على أجهزة الاستشعار لرصد حالة المعدات آنياً									
تُوظَّف تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) في جمع البيانات التشغيلية وتحليلها لدعم قرارات الصيانة									
تعتمد الشركة على أنظمة الذكاء الاصطناعي وتعلّم الآلة في التنبؤ بالأعطال قبل وقوعها									
يتم دمج مخرجات التقنيات الحديثة مع أنظمة إدارة الصيانة لاتخاذ إجراءات استباقية مؤتمتة									
البعد الخامس: إدارة قطع الغيار وتوافرها									
تحتفظ الشركة بمخزون كافٍ من قطع الغيار الحرجة لضمان سرعة الاستجابة عند الحاجة									
يتم تصنيف قطع الغيار وفقاً لمعايير الحرجية ومعدلات الاستهلاك لتحديد أولويات التوريد									
تعتمد الشركة نظاماً محوسباً لإدارة المخزون يربط بين احتياجات الصيانة ومستويات التوريد									

المعارض بشدة المعارض بشدة محايد بشدة أوافق بشدة أوافق بشدة					البعد
					تُراجع سياسات التوريد دورياً بالتنسيق بين أقسام الصيانة والمشتريات لتفادي نفاد القطع الأساسية

✿ المحور الثاني: تقليل الأعطال غير المخططة، ضع إشارة (✓) في المربع المناسب لاختيارك:

أوافق أو أوافق بشدة					البعد
معارض أو أوافق بشدة					
					أسهمت أنظمة الصيانة الوقائية في خفض عدد الأعطال المفاجئة للمعدات التعدينية بشكل ملحوظ
					انخفضت حالات التوقف غير المخطط للمعدات منذ تطبيق برامج الصيانة الوقائية المنتظمة
					ارتفع مستوى جاهزية المعدات التشغيلية نتيجة الالتزام بجداول الصيانة الوقائية
					تراجعت نسبة التوقفات المفاجئة التي تؤثر سلباً على خطط الإنتاج اليومية
					أسهم تنفيذ الصيانة الوقائية وفق الجدول المعتمد في استقرار معدلات الإنتاج
					تحسّنت سرعة إنجاز عمليات الصيانة التصحيحية بفضل التخطيط الوقائي المسبق
					انخفض معدل تكرار الأعطال على المعدة ذاتها بعد تطبيق بروتوكولات الصيانة الوقائية

البعد					أوافق بشدة	أوافق	محايد	معارض بشدة	معارض
أتاحت التقنيات الحديثة المستخدمة في الصيانة القدرة على التنبؤ بالأعطال قبل حدوثها									
أسهم التحليل الدوري لبيانات التشغيل في الكشف المبكر عن مؤشرات التدهور في أداء المعدات									
انخفض متوسط زمن الإصلاح (MTTR) للمعدات المشمولة ببرامج الصيانة الوقائية									
أسهمت أنظمة الصيانة الوقائية في خفض عدد الأعطال المفاجئة للمعدات التعدينية بشكل ملحوظ									
انخفضت حالات التوقف غير المخطط للمعدات منذ تطبيق برامج الصيانة الوقائية المنتظمة									

مع خالص التقدير والاحترام

Mid Ocean University

College of Management



Master of business administration

**The Impact of Implementing Preventive Maintenance
Systems on Reducing Unplanned Equipment Failures in
Mining Machinery: A Field Study at the Saudi Mining
Company (Ma'aden)**

Prepared by:

Abdullah Ali Awadah Aboush Al-Ghamdi

Student ID:

252000313

Supervision:

Dr. Al-Faisal Abdelhamid Mohamed Hassan

Dr. Fayez Jarad

1447-2025