Libyan Journal of Medical and Applied Sciences LJMAS
Online ISSN: 3006-1113
Volume 3, Issue 2, 2025, Page No: 29-38
Website: https://ljmas.com/index.php/journal/index

Measuring the operational performance gap between the " current situation and the ideal level in industry using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) indicator

Masoud Omar Masoud *
Department of Advanced Engineering Technologies, Higher Institute of Engineering Technologies, Bani Walid, Libya

* Corresponding author: Masaud1458@gmail.com

Received: March 28, 2025 Accepted: May 04, 2025 Published: May 09, 2025

Abstract:
This study aims to analyze the operational gap between current maintenance practices and the optimal maintenance level in the industrial sector, with a focus on using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) indicator as an evaluative tool. Data were collected from production management records and reports covering the period 2012–2022 to assess the performance efficiency of production equipment at the Libda Cement Plant. The results revealed a significant operational gap between actual performance and the ideal level across various production units, negatively impacting operational efficiency, reliability, and productivity.
Performance indicators varied across the studied units. The storage unit initially achieved high performance but later declined due to increased failure rates. The grinding unit demonstrated gradual improvement in reliability and maintenance efficiency, despite fluctuations in overall performance. The finished product unit experienced sharp fluctuations, with complete performance collapse in certain years—potentially due to catastrophic failures or data recording errors. In contrast, the ground-scale unit showed continuous improvement and outperformed other units in most performance indicators, particularly in 2021. The mixing unit exhibited unstable performance, with only partial recovery in recent years, as failure rates remained high and operational availability suboptimal.
These findings highlight the urgent need to develop maintenance strategies and enhance monitoring and analysis systems to bridge the operational gap and achieve sustainable industrial performance.

Keywords: Operational Gap, Maintenance Operations, Industrial Performance Indicators, Libda Cement Plant, Libya.

قياس الفجوة التشغيلية بين الوضع الراهن والمستوى الأمثل للصيانة باستخدام مؤشرات الأداء الصناعي OEE

مسعود عمر مسعود *
قسم تقنيات الحاسوب المتقدمة، المعهد العالي للتقنيات الهندسية، بني وليد، ليبيا

الملخص
تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الفجوة التشغيلية بين ممارسات الصيانة الحالية والمستوى الأمثل للصيانة في القطاع الصناعي، مع التركيز على استخدام مؤشر الأداء الصناعي الشامل (OEE) كأداة تقييمية. تم تجميع البيانات من سجلات وتقارير إدارة الإنتاج خلال الفترة (2012–2022) لتقييم كفاءة المعدات الإنتاجية بمصنع لبدة للإسمنت. أظهرت النتائج وجود فجوة تشغيلية واضحة بين الأداء الفعلي والمستوى المثالي في مختلف الوحدات الإنتاجية، مما انعكس سلباً على الكفاءة التشغيلية والموثوقية والإنتاجية. وقد تباينت مؤشرات الأداء بين الوحدات المدروسة، حيث سجلت وحدة التخزين أداءً مرتفعاً في بداية الفترة، قبل أن تتراجع بسبب زيادة معدلات الأعطال .في المقابل، أظهرت وحدة الطحن تحسناً تدريجياً في مؤشرات الموثوقية والصيانة، رغم التذبذب في الأداء العام. أما وحدة الإنتاج التام فقد شهدت تذبذباً حاداً مع انهيار في الأداء خلال بعض السنوات، مما قد يشير إلى أعطال جسيمة أو أخطاء في تسجيل البيانات. بينما أظهرت وحدة الميزان الأرضي التام تحسناً مستداماً، وتفوقت على بقية الوحدات في معظم مؤشرات الأداء، خصوصاً في عام 2021، وأخيراً، اتسم أداء وحدة الخلط بعدم الاستقرار، رغم بعض فترات التحسن، حيث بقي معدل الفشل مرتفعاً والتوفر التشغيلي دون المستوى الأمثل. وتشير هذه النتائج إلى

الحاجة الملحة لتطوير استراتيجيات الصيانة، وتحسين أنظمة الرصد والتحليل، بما يسهم في تقليص الفجوة التشغيلية وتحقيق أداء صناعي مستدام.

الكلمات المفتاحية: الفجوة التشغيلية، عمليات الصيانة، مؤشرات الأداء الصناعي، مصنع لبدة للإسمنت، ليبيا.

مقدمة

تُعد كفاءة المعدات الإنتاجية أحد المرتكزات الأساسية في تعزيز التنافسية الصناعية وتحقيق الاستدامة التشغيلية في بيئات الأعمال الحديثة، خصوصًا في ظل تعاظم التحديات المرتبطة بزيادة تكاليف التشغيل، وتقليص فترات التوقف، وتحقيق الجودة العالية في الإنتاج. ويُعد الاهتمام بأنظمة الصيانة المتكاملة مدخلًا استراتيجيًا مهمًا لتحسين فعالية العمليات الصناعية، حيث أضحت الصيانة لا تُنظر إليها كعبء تشغيلي أو وظيفة تكميلية، بل كأداة أساسية لتحقيق التميز التشغيلي وتحسين الأداء الصناعي العام [1].

لقد أدى التطور في نظم الإنتاج والتشغيل إلى ظهور مؤشرات كمية يمكن من خلالها تقييم كفاءة المعدات الصناعية، ومن أبرز هذه المؤشرات :مؤشر الأداء الصناعي الشامل أو ما يعرف بـ (Overall Equipment Effectiveness – OEE)، الذي يمثل أداة كمية ومعيارية تُستخدم على نطاق واسع لتحديد الفجوات بين الأداء الفعلي للأصول الإنتاجية والمستوى المثالي المرجو. ويتكون هذا المؤشر من ثلاثة أبعاد رئيسية، هي: الإتاحية (Availability)، والأداء (Performance)، وجودة المنتج (Quality) [2].

تشير الأدبيات الحديثة إلى أن الانخفاض في مستويات OEE يرتبط غالباً بعدم فاعلية ممارسات الصيانة المطبقة، سواء من حيث توقيتها، أو منهجيتها، أو مدى تبنيها لأدوات التشخيص والتحليل المبكر للأعطال [3]. كما بيّنت دراسات أخرى أن وجود فجوة بين الوضع الراهن للصيانة والمستوى الأمثل يؤدي إلى تدنٍ في الجاهزية التشغيلية للمعدات، وتزايد فترات التوقف غير المخطط لها، الأمر الذي ينعكس سلبًا على الطاقة الإنتاجية، ورضا العملاء، والتكاليف الكلية [4].

وفي ظل التوجه العالمي نحو التحسين المستمر في نظم التصنيع، يتطلب الوضع الراهن إجراء تحليل دقيق لفعالية أنظمة الصيانة المطبقة داخل المنشآت الصناعية، بهدف الكشف عن الفجوات التشغيلية القائمة وتحديد أوجه القصور في الأداء. ومن هنا، تبرز أهمية هذا البحث في كونه يسعى إلى قياس وتحليل الفجوة التشغيلية بين الممارسات الفعلية للصيانة والمستوى الأمثل المرجو، وذلك من خلال تطبيق مؤشر OEE كأداة تشخيصية رئيسية تساعد في وضع خريطة طريق لتحسين الكفاءة التشغيلية للمعدات.

يسعى هذا البحث إلى سد فجوة معرفية وتطبيقية في الأدبيات الصناعية المعاصرة، من خلال تبني منهجية تجمع بين التحليل الكمي لمؤشرات الأداء وتحليل نوعي لسلوكيات الصيانة، بما يسهم في تقديم حلول عملية قابلة للتطبيق في بيئات صناعية مختلفة، خصوصاً في القطاعات التي تعاني من تدني مستوى الاعتمادية الفنية، مثل قطاع صناعة الإسمنت.

عليه، فإن القيمة العلمية والعملية لهذا البحث تتمثل في أنه يقدم مدخلاً متكاملاً لتحسين كفاءة المعدات الإنتاجية عبر فهم العلاقة السببية بين ممارسات الصيانة ومؤشرات الأداء الصناعي، وتحليل الفجوة القائمة بهدف تطوير برامج صيانة فعالة قائمة على البيانات والتحليل المستمر، الأمر الذي يُعد متطلبًا أساسياً للتحول نحو صيانة ذكية وموجهة بالأداء.

مشكلة الدراسة

رغم اعتماد العديد من المؤسسات على ممارسات صيانة تقليدية، إلا أن الأداء الفعلي للمعدات غالباً ما يكون دون المستوى المطلوب، مما يؤدي إلى انخفاض الإنتاجية وزيادة التكاليف .تتمثل مشكلة الدراسة في تحديد الفجوة بين الممارسات الحالية للصيانة والمستوى الأمثل، وتحليل أسباب هذه الفجوة وتأثيرها على كفاءة المعدات.

الإطار النظري

مؤشر الأداء الصناعي الشامل(OEE)

يُعد مؤشر الأداء الصناعي الشامل (Overall Equipment Effectiveness – OEE) من أهم الأدوات القياسية التي تُستخدم في تقييم كفاءة الأداء التشغيلي للمعدات الصناعية، إذ يمثل إطاراً متكاملاً لقياس مدى فعالية استخدام المعدات في البيئات الإنتاجية. وقد ظهر هذا المؤشر ضمن فلسفة الصيانة الإنتاجية الشاملة – (Total Productive Maintenance (TPMالتي طُورت في اليابان، وتحديداً من قبل معهد الصيانة الإنتاجية الياباني (JIPM) في سبعينيات القرن الماضي، بهدف تقليل الفاقد وتحسين فعالية المعدات في خطوط الإنتاج [5]. يعتمد مؤشر OEE على ثلاثة أبعاد رئيسية مترابطة هي: الإتاحية (Availability) الذي يقيس الوقت الفعلي لتشغيل المعدات مقارنة بالوقت المخطط له؛ الأداء (Performance) الذي يحلل سرعة التشغيل مقارنة بالسرعة التصميمية؛ والجودة (Quality) التي تحسب نسبة المنتجات المطابقة للمواصفات من إجمالي الإنتاج [6].

هذا المؤشر معياراً عالمياً معتمداً لقياس الأداء الصناعي، خصوصاً في قطاعات التصنيع الكثيف مثل صناعة السيارات والإسمنت والمعادن، نظراً لما يتيحه من إمكانات تحليلية لرصد الفجوات التشغيلية ووضع استراتيجيات فعالة للصيانة والتحسين المستمر [7]. كما تُظهر الدراسات الحديثة أهمية استخدام OEE ليس فقط كأداة تقييم، بل أيضاً كمؤشر قيادي لتحفيز فرق الإنتاج والصيانة نحو تحسين الأداء وتحقيق الأهداف الاستراتيجية للمنظمة، وبذلك، يشكّل OEE محوراً حيوياً في برامج التحسين المستمر، إذ يُمكّن الإدارات من اتخاذ قرارات مبنية على بيانات واقعية وموثوقة لتحسين كفاءة المعدات وتقليل الفواقد والاختناقات التشغيلية، وبالتالي رفع الإنتاجية وتعزيز الاستدامة الصناعية.

يُعتبر مؤشر OEE أداة قياس فعالة لتقييم كفاءة المعدات، ويتكون من ثلاث مكونات رئيسية:

- الإتاحية (Availability): نسبة الوقت الذي تكون فيه المعدات متاحة للتشغيل مقارنة بالوقت المخطط.
- الأداء (Performance): معدل الإنتاج الفعلي مقارنة بالإنتاج النظري.
- الجودة (Quality): نسبة المنتجات الجيدة إلى إجمالي المنتجات المنتجة.

يُحسب مؤشر OEE بضرب هذه المكونات الثلاثة [8]:

مؤشر OEE = الاتاحية × الأداء × الجودة

استراتيجيات الصيانة الحديثة:

تشمل استراتيجيات الصيانة المتقدمة الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance - PdM)، التي تعتمد على تحليل البيانات والتقنيات الحديثة للتنبؤ بالأعطال قبل حدوثها، مما يقلل من التوقفات غير المخطط لها ويزيد من كفاءة المعدات. تستند هذه الاستراتيجية إلى استخدام أجهزة استشعار متقدمة، وتقنيات إنترنت الأشياء الصناعية (IIoT)، وتحليلات البيانات الضخمة (Big Data Analytics)، إضافة إلى الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي (Machine Learning) لتقييم الحالة الفعلية للمعدات في الوقت الحقيقي [9]. من خلال تحليل مؤشرات مثل الاهتزاز، درجة الحرارة، الصوت، والضغط، يمكن للأنظمة الذكية تحديد الأنماط التي تشير إلى وجود خلل وشيك، وبالتالي السماح بإجراء الصيانة في الوقت المناسب قبل وقوع الفشل.

وتتميز الصيانة التنبؤية بكونها أكثر فعالية من الصيانة التقليدية أو الدورية، إذ تقلل من التكاليف التشغيلية، وتحسن من موثوقية المعدات، وتطيل من عمرها الافتراضي .(Mobley, 2002) كما تسهم هذه الاستراتيجية في تحسين مؤشرات الأداء الصناعي مثل الاتاحية (Availability) وجودة الإنتاج، مما يجعلها أداة أساسية في تحقيق الكفاءة التشغيلية وتعزيز القدرة التنافسية للمؤسسات الصناعية .(Jardine et al., 2006) وقد أصبحت العديد من المصانع الحديثة تعتمد على أنظمة الصيانة التنبؤية المتكاملة ضمن مفهوم التحول الرقمي للصناعة(Industry 4.0) ، والذي يعزز الربط بين العمليات الفيزيائية والرقمية لاتخاذ قرارات صيانة أكثر دقة وفعالية.

في السياق نفسه، تعتبر الصيانة التنبؤية إحدى الركائز المهمة ضمن برامج الصيانة الإنتاجية الشاملة(TPM) ، حيث تساهم في رفع مؤشر الأداء الصناعي الشامل (OEE) من خلال تقليل وقت التوقف وتقليل المنتجات المعيبة وزيادة الأداء التشغيلي. وتظهر تطبيقات ناجحة لهذه الاستراتيجية في قطاعات صناعية متنوعة، مثل صناعة الطيران، والسيارات، والطاقة، والإسمنت، حيث تكون الأعطال المفاجئة ذات تأثير كبير على الكفاءة والإنتاجية [10] من هنا، فإن تبني استراتيجيات الصيانة المتقدمة يمثل تحولًا نوعياً في كيفية تعامل المؤسسات مع إدارة أصولها المادية.

مؤشرات قياس أداء الصيانة:

يُعد تقييم أداء الصيانة من العمليات الحيوية التي تؤثر بشكل مباشر في كفاءة وموثوقية نظم الإنتاج، إلا أنه لا يوجد مقياس مطلق أو معيار عالمي يمكن الاعتماد عليه لتحديد ما إذا كانت ممارسات الصيانة في منشأة صناعية ما جيدة أو غير فعّالة. ويرجع ذلك إلى تباين البيئات الصناعية واختلاف طبيعة المعدات والعمليات بين منشأة وأخرى. وعليه، فإن المنهج المتّبع في تقييم فعالية الصيانة يعتمد غالبًا على مقارنة مستوى الأداء في فترات زمنية مختلفة داخل نفس المنشأة، أو من خلال الاعتماد على معايير مرجعية داخلية مستمدة من النتائج الاقتصادية والهندسية السابقة، بهدف الكشف عن الانحرافات ووضع خطط للتحسين المستمر [14].

ويُعرف مؤشر الأداء (Performance Indicator) بأنه: "مستوى متوقّع من الأداء يُستخدم لمقارنة الأداء الفعلي به [12]. وهذا التعريف يبرز أن مؤشرات الأداء تمثّل أداة كمية تُوظّف لقياس مدى التقدّم باتجاه تحقيق الأهداف المرسومة. كما تعرف أيضاً بأنها "معلومات كمية تقيس فعالية وكفاءة جزء أو كل عملية إنتاجية مقارنة بمعيار أو هدف محدد، في إطار استراتيجية المؤسسة" [1]. بناءً على ذلك، فإن مؤشرات الأداء ليست فقط أدوات تقييم، بل تُستخدم كوسائل دعم لاتخاذ القرار والتوجيه الاستراتيجي في بيئة التصنيع والصيانة. وعلى وجه التحديد، فإن مؤشرات أداء الصيانة تسعى إلى قياس مدى فعالية النظم والعمليات المرتبطة بصيانة المعدات من خلال تحليل الأوقات، وتكرار الأعطال، والاستجابة لها، وهي تتكامل عادةً في نظام شامل لقياس الأداء الصناعي يعرف بـ المؤشر الشامل لفعالية المعدات .(OEE) وتُعد المؤشرات التالية من أهم الأدوات المستخدمة في هذا السياق:

1. متوسط الوقت بين الأعطال (Mean Time Between Failures - MTBF)

يعد مؤشر MTBF من أبرز مؤشرات تقييم موثوقية المعدات، إذ يقيس متوسط الفاصل الزمني بين حالتين متتاليتين من الفشل أو التعطل لنفس المعدة. وهو مؤشر يعكس فعالية إجراءات الصيانة الوقائية. ويُحسب هذا المؤشر باستخدام المعادلة التالية [14].

$$\text{MTBF (Mean Time Between Failures)} = \frac{\textbf{Total Time – Downtime}}{\textbf{\textit{No of Failures}}}$$

فإن ارتفاع قيمة هذا المؤشر يعني زيادة موثوقية المعدة، وهو ما يعكس تحسن جودة الصيانة وتقليل احتمالية التوقفات غير المخطط لها.

2. متوسط وقت الإصلاح (Mean Time to Repair - MTTR)

يقيس مؤشر MTTR كفاءة فرق الصيانة من حيث سرعة استجابتهم وقدرتهم على إصلاح الأعطال. ويمثل متوسط الزمن اللازم لإعادة تشغيل المعدة بعد حدوث العطل. ويتم حسابه كالتالي [14]:

$$\frac{\textbf{Total Downtime } \textbf{\textit{Time}}}{\textbf{\textit{No of}} \textbf{ Repairs}} = \text{MTTR (Mean Time to Repair}$$

فكلما انخفضت قيمة MTTR، دلّ ذلك على كفاءة العمليات وسرعة إصلاح الأعطال، مما يعزز من الجاهزية التشغيلية ويقلل من الخسائر الإنتاجية.

3. الإتاحية (Availability)

تعد الإتاحية مؤشر مركب يقيس مدى توافر المعدة للعمل عند الحاجة، وهي متأثرة بقيم كل من (MTBF) و(MTTR). وتشير إلى نسبة الوقت الذي تكون فيه المعدات قادرة على أداء وظائفها مقارنة بإجمالي الوقت. وتُحسب وفق المعادلة التالية [14]:

$$\text{Availability} = \frac{\textbf{MTBF}}{\textbf{MTBF+MTTR}}$$

أي كلما زادت الإتاحية، زادت كفاءة الأداء التشغيلي، وقلّت الأعطال، وارتفعت الإنتاجية، كلما انخفضت الإتاحية، زاد الوقت الضائع، وقلت موثوقية المعدة، وانخفض العائد من الاستثمار في الأصول.

4. الفشل (Failure):

يُعرّف معدل الفشل (Failure Rate) بأنه "المقلوب الرياضي لمتوسط الزمن بين الأعطال (MTBF)، ويُرمز له عادة بالرمز(λ). ويُعد من المؤشرات الأساسية في تحليل موثوقية المعدات، إذ يُعبر عن احتمالية حدوث فشل في وحدة معينة خلال فترة زمنية محددة .وكلما زادت قيمة هذا المعدل، دلّ ذلك على انخفاض موثوقية المعدة. ويعكس معدل الفشل احتمال تعرض المعدة لعطل في أي لحظة بعد تشغيلها لفترة زمنية معينة. ويمكن حساب هذا المؤشر من خلال المعادلة التالية:

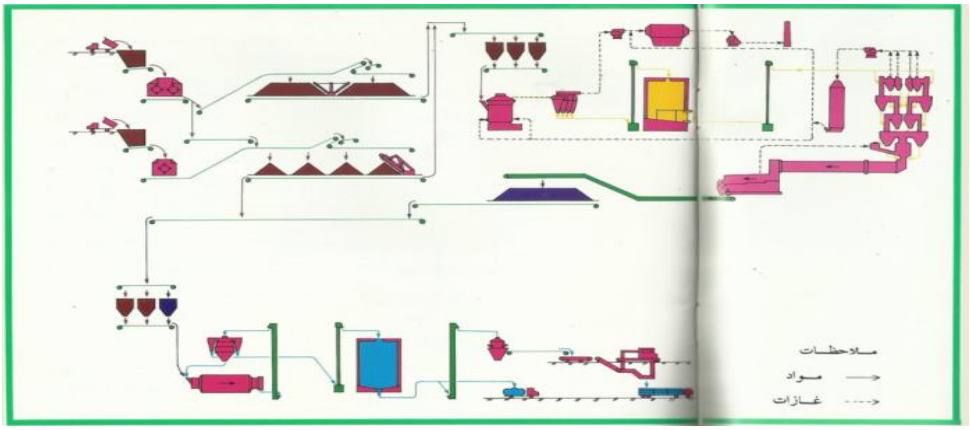
$$\frac{\textbf{1}}{\textbf{MTBF}} = = \text{Failure Rate } (\lambda)$$

المنهجية:

سعياً لتحقيق أهداف هذه الدراسة، تم اعتماد المنهج الوصفي التحليلي بوصفه الأنسب لطبيعة الموضوع، حيث يجمع هذا المنهج بين الوصف المنظم للواقع الفعلي لأنشطة الصيانة داخل المنشأة الصناعية قيد الدراسة، والتحليل الكمي لمؤشرات الأداء الصناعي بهدف قياس الفجوة التشغيلية بين الوضع الراهن للصيانة والمستوى الأمثل المستهدف. وقد تم بناء هذه الدراسة على أساس تحليل بيانات ميدانية مستمدة من بيئة تشغيلية حقيقية، وذلك من خلال تطبيق نموذج قياس فعالية المعدات الشاملة (OEE) الذي يتكون من ثلاثة مؤشرات رئيسية: الاتاحية(Availability) ، الأداء(Performance) ، وجودة المنتج .(Quality) تمثل هذه المؤشرات بنيةً معيارية تسمح بتقييم مستوى كفاءة الصيانة الحالية مقارنة بالقيم المرجعية المثالية، ومن ثم تحديد حجم الفجوة التشغيلية بشكل دقيق.

ويستند هذا النهج التحليلي إلى مجموعة من الأدوات الكمية، منها حساب متوسطات الأداء الفعلي للمعدات، وتحليل أسباب فقدان الكفاءة، وتحديد معدلات التوقف غير المخطط له، واستخلاص مؤشرات انحراف الأداء عن المستوى المثالي. كما تم

توظيف تحليل الفجوات (Gap Analysis) كأداة مساندة لرصد الفجوة بين الوضع الراهن والمستوى المطلوب للصيانة، بهدف تشخيص نقاط القصور التشغيلية واقتراح مداخل للتحسين.
وتعتمد الدراسة كذلك على جمع بيانات كمية من خلال سجلات الصيانة والتشغيل الفعلي للمعدات داخل المنشأة المستهدفة، بالإضافة إلى الاستعانة بمقاييس معيارية دولية لتقييم الأداء الصناعي، مما يمنح نتائج البحث درجة عالية من المصداقية وقابلية المقارنة.
من خلال هذا الإطار المنهجي، تهدف الدراسة إلى تقديم رؤية تحليلية دقيقة لوضع الصيانة الحالي، وبلورة تصور عملي لتحسين كفاءة المعدات الإنتاجية عبر معايير قابلة للقياس، بما يسهم في تعزيز الأداء العام للمنشأة وتخفيض التكاليف الناتجة عن الأعطال والتوقفات المتكررة.
تولى قسم الدراسات وبرمجة الصيانة في المصنع مسؤولية تخطيط وتنظيم أعمال الصيانة الوقائية على مدار العام، وذلك من خلال نظام معلوماتي آلي مخصص لإدارة الصيانة. يعتمد هذا النظام على قاعدة بيانات متكاملة تُمكِّن من تخطيط وبرمجة أنشطة الصيانة من الجوانب التقنية والمالية والتنظيمية. وقد تم الاطلاع على التقارير الفنية الصادرة عن هذا القسم، إلى جانب حصر شامل لجميع أوامر العمل الخاصة بعامي 2013-2022. وتشمل هذه الأنشطة كافة وحدات المصنع الإنتاجية، بما يتماشى مع تسلسل المراحل الإنتاجية الموضحة في الشكل رقم (1).



شكل1. مراحل عمليات التصنيع في صناعة الإسمنت

يوضح الشكل أن عملية إنتاج الإسمنت تتضمن عدة مراحل متتابعة، تُعرض هنا بإيجاز نظراً لأهميتها، دون الخوض في التفاصيل الفنية لكل مرحلة. وتشمل هذه المراحل: تكسير المواد الخام، خلطها وتخزينها، طحن المواد الخام، عملية الحرق، ثم طحن الكلنكر مع الجبس، وأخيراً مرحلة تعبئة الإسمنت [12]. وفي هذا السياق، تبرز أهمية التعرف على الوحدات الإنتاجية الأساسية المكونة للمصنع، والتي تمثل محوراً رئيسياً لعمليات الصيانة الوقائية والتشغيلية، بهدف ضمان استمرارية وكفاءة التشغيل. وتتمثل هذه الوحدات في: الكسارة الرئيسية، طاحونة المواد الخام، الفرن، طاحونة الإسمنت رقم (1)، طاحونة الإسمنت رقم (2)، وحدة التعبئة الآلية رقم (1)، وحدة التعبئة الآلية رقم (2)، وحدة التعبئة الآلية رقم (3)، ووحدة التعبئة الآلية رقم (4).

المناقشة:
يتناول هذا الجزء من الدراسة عرضًا لعمليات الصيانة والإنتاج في مصنع لبدة للإسمنت محل الدراسة، مع توضيح الأساليب المتبعة في قياس كفاءة أداء الصيانة بالمصنع. كما يستعرض نتائج تطبيق مؤشرات الأداء المستخدمة لتقييم فعالية عمليات الصيانة، ويقارن بينها وبين المؤشرات التقليدية، مع التركيز على مدى ملاءمتها لبيئة التصنيع الحديثة ومتطلبات تحسين الأداء الصناعي. الجدول رقم (1) يبين ساعات التشغيل والتوقف للوحدات الإنتاجية والتي تم الحصول عليها من التقارير الفنية لعمليات الصيانة.

جدول 1. ساعات التشغيل والتوقفات لوحدة التخزين للسنوات (2012 – 2021)

البيان	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
عدد الأعطال	252	264	144	155	120	276	156	300	132	192
مجموع ساعات التشغيل (ساعة)	3645	3648	3907	2602	2848	2225	2198	2134	2212	2355
مجموعات ساعات التوقف (ساعة)	2102	1991	2397	1585	2312	1594	1649	1578	1777	1813
مدة التشغيل الفعلي الانتاجي (ساعة)	1542	1657	1509	1017	536	631	549	556	435	543
مجموع ساعات إصلاح المكائن	1412	2067	1155	2043	2424	2617	1898	2444	1762	1721
MTBF	6.12	6.28	10.48	6.56	4.46	2.29	3.52	1.85	3.30	2.83
MTTR	0.67	1.04	0.48	1.29	1.05	1.64	1.15	1.55	0.99	0.95
Availability	90%	86%	96%	84%	81%	58%	75%	54%	77%	75%
معدل الفشل (λ)	16%	16%	10%	15%	22%	44%	28%	54%	30%	35%

شهدت وحدة التخزين تقلبات واضحة في الأداء خلال العقد الماضي، حيث برز عام 2014 كأفضل سنة من حيث الأداء التشغيلي، مسجلاً أعلى مؤشر للموثوقية MTBF 10.48) ساعة (وأفضل توفر تشغيلي (96%)، مع انخفاض ملحوظ في معدل الفشل إلى 10% فقط. كما تميز هذا العام بكفاءة صيانة عالية MTTR 0.48) ساعة (وإنتاجية جيدة (1509 ساعة تشغيل فعلي). في المقابل، سجلت الوحدة أسوأ أداء لها في عامي 2017 و2019، حيث انخفض التوفر التشغيلي إلى 58% و54% على التوالي، مع ارتفاع معدل الفشل إلى 44% و54%، وتراجع مؤشر الموثوقية بشكل كبير (MTBF) 2.29 و1.85 ساعة.

جدول 2. ساعات التشغيل والتوقفات لوحدة الطحن للسنوات (2012 – 2021)

البيان	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
عدد الأعطال	252	181	179	164	131	187	129	172	98	84
مجموع ساعات التشغيل (ساعة)	2464	2192	3760	1958	2623	2045	2197	1991	2056	2200
مجموعات ساعات التوقف (ساعة)	2000	1954	2954	1548	2156	1620	1867	1571	1867	1877
مدة التشغيل الفعلي الانتاجي (ساعة)	464	238	805	410	467	425	330	420	189	323
مجموع ساعات إصلاح المكائن	1823	2135	1828	1959	2328	2660	1625	1965	1650	1655
MTBF	1.84	1.31	4.50	2.50	3.56	2.27	2.56	2.44	1.93	3.84
MTTR	0.91	1.09	0.62	1.27	1.08	1.64	0.87	1.25	0.88	0.88
Availability	67%	55%	88%	66%	77%	58%	75%	66%	69%	81%
معدل الفشل (λ)	54%	76%	22%	40%	28%	44%	39%	41%	52%	26%

تشير البيانات إلى تطور ملحوظ في أداء وحدة الطحن على مدار العقد الماضي، مع وجود بعض التقلبات الجديرة بالاهتمام. فقد شهد عام 2014 أداءً استثنائياً حيث سجلت الوحدة أعلى قيمة لمدة التشغيل الفعلي الإنتاجي (805 ساعة) وأفضل مؤشر للموثوقية (MTBF 4.50) ساعة، مع انخفاض ملحوظ في معدل الفشل إلى 22% وتحسن كبير في التوفر التشغيلي ليصل إلى 88%. هذا الأداء المتميز في 2014 يقابله تحسن كبير في كفاءة الصيانة حيث انخفض وقت الإصلاح (MTTR)إلى 0.62 ساعة، وهو الأفضل خلال الفترة المدروسة.

على الجانب الآخر، سجلت الوحدة أداءً متدنياً في عام 2013 حيث انخفض التوفر التشغيلي إلى 55% مع ارتفاع معدل الفشل إلى 76%، وبلغ وقت التشغيل الفعلي الإنتاجي أدنى مستوى له عند 238 ساعة فقط. كما لوحظ تحسن تدريجي مستمر في الأداء منذ عام 2018، حيث انخفض عدد الأعطال بشكل ملحوظ من 172 عطلاً في 2019 إلى 84 عطلاً فقط في 2021، مع تحسن مطرد في مؤشرات الموثوقية وجودة الصيانة.

جدول 3. ساعات التشغيل والتوقفات لوحدة الخلط للسنوات (2012 – 2021)

البيان	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
عدد الأعطال	213	186	177	149	128	183	129	196	115	145
مجموع ساعات التشغيل (ساعة)	2662	2327	2520	1997	2686	2569	2271	1997	2177	2274
مجموعات ساعات التوقف (ساعة)	1989	1956	2354	1533	2161	1519	1787	1526	1897	1868
مدة التشغيل الفعلي الانتاجي (ساعة)	674	371	165	464	525	1050	484	471	280	406
مجموع ساعات إصلاح المكائن	1911	2223	1916	2047	2416	2748	1713	2053	1738	1743
MTBF	3.16	1.99	0.93	3.11	4.10	5.74	3.75	2.40	2.44	2.80
MTTR	0.96	1.14	0.81	1.33	1.12	1.81	0.96	1.34	0.92	0.93
Availability	77%	64%	53%	70%	79%	76%	80%	64%	73%	75%
معدل الفشل (λ)	32%	50%	107%	32%	24%	17%	27%	42%	41%	36%

يتضح من تحليل بيانات وحدة الخلط للفترة من 2012 إلى 2021 وجود تباين كبير في أدائها التشغيلي. فقد شهدت الوحدة تقلبات ملحوظة في مؤشرات الأداء الرئيسية، حيث سجلت أسوأ أداء في عام 2014 مع انخفاض حاد في مدة التشغيل الفعلي الإنتاجي إلى 165 ساعة فقط، وارتفاع معدل الفشل إلى 107%، مما أدى إلى انخفاض التوفر التشغيلي إلى 53%، وهو الأدنى خلال العشر سنوات.

لكن الوحدة شهدت تحسناً ملحوظاً في عامي 2016 و2017، حيث ارتفع مؤشر MTBF إلى 4.10 و5.74 ساعة على التوالي، وانخفض معدل الفشل إلى 24% و17%، مما يعكس تحسناً في كفاءة التشغيل. كما تحسن التوفر التشغيلي في هذه الفترة ليصل إلى 79% و76%. ومع ذلك، عاد الأداء للتراجع في السنوات اللاحقة، حيث انخفض MTBF إلى 2.80 ساعة في 2021 وارتفع معدل الفشل إلى 36%.

من ناحية كفاءة الصيانة، ظل مؤشر MTTR عند مستويات مقبولة تتراوح بين 0.81 و1.34 ساعة، مع تسجيل أفضل أداء في عامي 2014 و2020 حيث بلغ MTTR حوالي 0.9 ساعة. أما بالنسبة للإنتاجية، فقد سجلت أعلى قيمة لمدة التشغيل الفعلي الإنتاجي في 2017 (1050 ساعة)، بينما ظلت في حدود 400-500 ساعة في معظم السنوات الأخرى.

بالنظر إلى هذه النتائج، يوصى بالتحقيق في أسباب التقلبات الكبيرة في الأداء، وخاصة في عام 2014 الذي شهد أسوأ مؤشرات تشغيلية. كما يوصى بدراسة العوامل التي أدت إلى التحسن الكبير في 2016-2017 لتكرارها في المستقبل. ومن المهم أيضاً العمل على استقرار أداء الوحدة وتحسين مؤشرات الموثوقية والتوفر التشغيلي، مع التركيز على تقليل وقت الإصلاح وزيادة كفاءة الصيانة.

جدول 4. ساعات التشغيل والتوقفات لوحدة الانتاج التام للسنوات (2012 – 2021)

البيان	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
عدد الأعطال	180	147	136	124	101	149	104	142	81	94
مجموع ساعات التشغيل (ساعة)	2296	2767	1979	1860	1993	1990	2178	1713	1939	2152
مجموعات ساعات التوقف (ساعة)	1799	2394	1548	1664	1477	1749	1659	1745	1972	1780
مدة التشغيل الفعلي الانتاجي (ساعة)	496	373	430	196	516	241	519	-32	-33	371
مجموع ساعات إصلاح المكائن	1735	2047	1740	1871	2240	2572	1537	1877	1562	1567
MTBF	2.76	2.54	3.16	1.58	5.10	1.62	4.99	-0.22	-0.41	3.95
MTTR	0.96	0.86	1.12	1.12	1.52	1.47	0.93	1.08	0.79	0.88
Availability	74%	75%	74%	58%	77%	52%	84%	-26%	-108%	82%
معدل الفشل (λ)	36%	39%	32%	63%	20%	62%	20%	-449%	-243%	25%

يتضح من خلال البيانات الواردة في الجدول 4 أن أداء وحدة الإنتاج التام شهد تقلبات كبيرة خلال الفترة من 2012 إلى 2021، حيث يمكن ملاحظة تباين واضح في مؤشرات الأداء الرئيسية. ففي بداية الفترة، وتحديداً في عامي 2012 و2013، كان الأداء مقبولاً مع توفر تشغيلي بلغ حوالي 74-75%، إلا أن الوضع بدأ يتدهور بشكل ملحوظ في عام 2015 عندما انخفض التوفر التشغيلي إلى 58% مع ارتفاع معدل الفشل إلى 63%، مما يشير إلى مشاكل تشغيلية أو صيانة غير فعالة.
وصلت الأمور إلى ذروة السوء في عامي 2019 و2020، حيث سجلت المؤشرات قيماً غير منطقية تماماً، فظهرت ساعات التشغيل الفعلي والإنتاجي بقيم سالبة، كما انخفض مؤشر MTBF إلى سالب 0.22 وسالب 0.41 على التوالي، بينما وصل التوفر التشغيلي إلى سالب 26% وسالب 108%. هذه القيم غير الطبيعية تستدعي مراجعة دقيقة، إذ قد تعكس إما أخطاء جسيمة في تسجيل البيانات أو أعطال كارثية في النظام تسببت في توقف شبه كامل للوحدة الإنتاجية.
بالمقابل، شهدت بعض السنوات أداءً جيداً، مثل عامي 2016 و2018 حيث تحسنت الموثوقية بشكل ملحوظ مع ارتفاع MTBFإلى 5.10 و4.99 ساعة على التوالي، وانخفاض معدل الفشل إلى 20% في كلا العامين. كما تحسن التوفر التشغيلي في 2018 ليصل إلى 84%، وهو أعلى معدل خلال العشر سنوات. وفي عام 2021، بدا أن الوحدة استعادت عافيتها إلى حد ما، حيث تحسنت معظم المؤشرات مقارنة بالسنوات السابقة، مع توفر تشغيلي بلغ 82% ومعدل فشل 25% فقط.
بالنسبة لساعات الإصلاح، لوحظت زيادة كبيرة في عامي 2016 و2017، حيث تجاوزت 2200 و2500 ساعة على التوالي، مما قد يعكس أعطالاً متكررة أو عمليات صيانة مكثفة. بينما شهدت السنوات الأخيرة انخفاضاً في ساعات الإصلاح، خاصة في 2020 و2021 حيث وصلت إلى حوالي 1560 ساعة، مما قد يشير إلى تحسن في كفاءة الصيانة أو انخفاض في وتيرة الأعطال.
من خلال تحليل هذه البيانات، يبرز سؤال مهم حول الأسباب الكامنة وراء التدهور الكبير في أداء الوحدة خلال عامي 2019 و2020، وما إذا كان ذلك ناتجاً عن مشاكل فنية حادة أم أخطاء في القياس والتسجيل. كما يلاحظ أن التحسن في بعض السنوات مثل 2016 و2018 و2021 قد يكون نتيجة تحسينات في إجراءات الصيانة أو تحديثات في المعدات، مما يستحق الدراسة للاستفادة منها في السنوات القادمة.
بشكل عام، توضح البيانات الحاجة إلى نظام أكثر فعالية لمراقبة الأداء والصيانة، مع ضرورة التحقيق في أسباب التقلبات الحادة في المؤشرات، خاصة تلك التي أدت إلى نتائج غير منطقية. كما تشير إلى أهمية الاستثمار في تحسين كفاءة الصيانة وتقليل وقت التوقف لضمان استقرار الأداء الإنتاجي للوحدة على المدى الطويل.

جدول 5. ساعات التشغيل والتوقفات لوحدة الميزان الأرضي التام للسنوات (2012 – 2021)

البيان	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
عدد الأعطال	276	215	184	156	99	148	139	177	121	183
مجموع ساعات التشغيل (ساعة)	2315	2872	1867	1800	1889	1956	2022	1781	1956	2247
مجموعات ساعات التوقف (ساعة)	1646	2125	1306	1212	1411	1401	1426	1171	1514	1237
مدة التشغيل الفعلي الانتاجي (ساعة)	669	747	561	588	477	555	596	611	442	1010
مجموع ساعات إصلاح المكائن	582	728	449	433	467	472	532	434	500	562
MTBF	2.42	3.47	3.05	3.77	4.82	3.75	4.29	3.45	3.65	5.52
MTTR	0.35	0.34	0.34	0.36	0.33	0.34	0.37	0.37	0.33	0.45
Availability	87%	91%	90%	91%	94%	92%	92%	90%	92%	92%
معدل الفشل (λ)	41%	29%	33%	27%	21%	27%	23%	29%	27%	18%

يشير تحليل بيانات وحدة الميزان الأرضي التام للفترة من 2012 إلى 2021 إلى تطور إيجابي ومستقر في أدائها التشغيلي. فقد تحسنت موثوقية المعدات بشكل ملحوظ خلال هذه السنوات، حيث ارتفع مؤشر MTBF من 2.42 ساعة في بداية الفترة إلى 5.52 ساعة في نهايتها، بينما انخفض معدل الفشل بشكل مطرد من 41% إلى 18%، مما يعكس تحسناً كبيراً في كفاءة التشغيل.
تميز أداء الوحدة بمستويات عالية من التوفر التشغيلي الذي تجاوز 90% في معظم السنوات، ووصل إلى ذروته في عام 2016 بنسبة 94%، كما ظلت أوقات الإصلاح (MTTR) منخفضة بشكل ملحوظ عند معدل 0.33-0.45 ساعة طوال الفترة، مما يدل على كفاءة عالية في عمليات الصيانة. وقد تحققت هذه النتائج رغم انخفاض عدد الأعطال بشكل عام من 276 عطلاً في 2012 إلى 183 عطلاً في 2021.
شهدت الوحدة تحسناً ملموساً في الإنتاجية، حيث ارتفعت ساعات التشغيل الفعلي الإنتاجي من متوسط حوالي 600 ساعة في معظم السنوات إلى 1010 ساعة في 2021، بينما انخفضت ساعات التوقف بشكل عام بنحو 25% خلال نفس

الفترة. ويظهر عام 2021 بشكل خاص أداءً استثنائياً في معظم المؤشرات، مما يستحق الدراسة للوقوف على العوامل التي ساهمت في هذا التحسن.

جدول 6. مؤشرات الأداء الصناعي OEE

الوحدة الإنتاجية	متوسط الإتاحية	متوسط الأداء	متوسط الجودة	مؤشر الأداء الصناعي
وحدة التخزين	%78	%68	%92	%49
وحدة الطحن	%70	%62	%88	%38
وحدة الخلط	%69	%58	%85	%34
وحدة الانتاج التام	%64	%51	%82	%27
وحدة الميزان الآلي	%91	%84	%95	%73

تحليل مؤشرات الأداء الصناعي (OEE) لوحدات الإنتاج:

يكشف الجدول رقم (6) عن تفاوت كبير في كفاءة التشغيل بين الوحدات الإنتاجية الخمسة خلال فترة الدراسة. حيث تبرز وحدة الميزان الآلي كأفضل الوحدات أداءً بمؤشر OEE بلغ 73%، وذلك نتيجة تميزها في جميع المؤشرات الفرعية: إتاحية عالية (91%)، أداء تشغيلي ممتاز (84%)، وجودة منتجات فائقة (95%). هذا الأداء المتفوق يعكس نظام صيانة فعال وإدارة تشغيلية محكمة. في المقابل، سجلت وحدة الإنتاج التام أدنى معدل OEE عند 27% فقط، مما يشير إلى وجود تحديات كبيرة في كفاءة التشغيل. ويعزى هذا الضعف إلى تدني معدل الإتاحية (64%) والأداء التشغيلي (51%)، مما يستدعي تدخلاً عاجلاً لتحسين إجراءات الصيانة ورفع كفاءة العمليات. أما الوحدات الثلاث المتبقية (التخزين، الطحن، الخلط) فقد سجلت معدلات OEE متوسطة تتراوح بين 34% إلى 49%. وتشير البيانات إلى أن هذه الوحدات تعاني بشكل أساسي من ضعف في الأداء التشغيلي (بين 58% إلى 68%)، بينما تحافظ على مستويات مقبولة من الجودة (85% إلى 92%).

النتائج

1. كشفت الدراسة عن وجود فجوة تشغيلية حقيقية في مصنع لبدة للإسمنت ناتجة عن تراجع مؤشرات الصيانة والموثوقية في بعض الوحدات الحيوية. ورغم بعض التحسينات الطفيفة في السنوات الأخيرة، فإن الأداء ما يزال بعيداً عن المستوى المثالي.
2. ويُعد تبني استراتيجيات صيانة حديثة وتحسين جمع وتحليل البيانات من أبرز الأولويات لتحقيق كفاءة تشغيلية مستدامة.
3. يمثل هذا التحليل نقطة انطلاق لتطوير خطة عمل استراتيجية تهدف إلى تحقيق تحسينات مستدامة في موثوقية الأصول وكفاءة العمليات، مما يساهم في تحقيق أهداف الإنتاج والاستدامة المؤسسية.
4. أظهرت الدراسة وجود فجوة تشغيلية واضحة بين الوضع الراهن والمستوى الأمثل للأداء، حيث بلغ متوسط مؤشر الأداء الصناعي الشامل (OEE) لجميع الوحدات 60%، وهو أقل بكثير من المستوى المثالي الموصى به .(85%) تبيّن أن عنصر الإتاحة التشغيلية كان الأضعف نتيجة التوقفات المفاجئة والأعطال المتكررة، بينما أظهرت بعض مؤشرات الصيانة تحسنًا طفيفًا لم يكن كافيًا لتعويض تراجع الأداء الكلي.
5. سجلت وحدة التخزين أداءً مرتفعًا في السنوات الأولى (2014–2012) من حيث الإتاحة (96%–86) ومعدل فشل منخفض(16%–10) ، إلا أنها شهدت تدهورًا واضحًا في الموثوقية خلال الفترة (2021–2015) مع ارتفاع معدل الفشل إلى 35%في .2021أما وحدة الطحن، فقد أحرزت تحسنًا تدريجيًا في مؤشرات الأداء، حيث انخفض عدد الأعطال بنسبة 67%وارتفع متوسط الوقت بين الأعطال (MTBF) من 1.84إلى 3.84ساعة، لكن الأداء ظل متذبذبًا.
6. أظهرت وحدة الإنتاج التام تذبذبًا حادًا في الأداء مع انهيار كامل في مؤشرات 2020–2019، مما يُرجّح وجود أعطال جسيمة أو خلل في جمع البيانات .وفي المقابل، حافظت وحدة الميزان الأرضي على أداء ثابت وفعّال، إذ ارتفع مؤشر MTBFبنسبة 128%وانخفض معدل الفشل من 41%إلى 18%مع إتاحة تشغيلية تجاوزت 90% في معظم السنوات .أما وحدة الخلط، فرغم تسجيلها لأفضل أداء في (MTBF = 5.74 2017ساعة، معدل فشل (17%، فإنها استمرت في إظهار تذبذب وارتفاعًا في معدل الفشل (36%) في .2021
7. تشير هذه النتائج إلى ضعف في تطبيق استراتيجيات الصيانة الوقائية والتنبؤية، مما ساهم في انخفاض الكفاءة التشغيلية للمعدات وارتفاع معدلات التوقفات .وتوصي الدراسة بتعزيز برامج الصيانة الاستباقية، وتحسين سرعة الاستجابة للأعطال(MTTR) ، وتحليل جذور الأعطال المتكررة عبر أدوات مثل تحليل الأسباب الجذرية (RCA)، بهدف تقليل الفجوة التشغيلية وتحقيق مستويات أداء أقرب إلى المستوى المثالي.

التوصيات

1. تطبيق نظام إدارة صيانة متكامل (CMMS) يعتمد على تقنيات حديثة لتحليل البيانات، بما يسهم في تحسين مؤشرات الإتاحة (Availability) وتقليل الأعطال غير المخطط لها.

2. تبني استراتيجيات صيانة استباقية وتنبؤية (Predictive Maintenance)تعتمد على بيانات حالة المعدات وتحليل مؤشرات الأداء السابقة لتقليل الفجوة التشغيلية ورفع الكفاءة.
3. تحسين مراقبة وتحليل مؤشرات الأداء الصناعي (OEE) بشكل منتظم، مع التركيز على المؤشرات الفرعية (MTBF)، (MTTR)، ومعدل الفشل لاتخاذ قرارات فنية دقيقة.
4. تعزيز برامج الصيانة الوقائية (Preventive Maintenance) وتوثيقها، خاصة في الوحدات التي شهدت أداءً مستقراً في بعض السنوات مثل (2016، 2021)، بهدف تكرار النجاحات وتقليل التذبذب في الأداء.
5. توفير برامج تدريبية متخصصة ومستمرة للكوادر الفنية في مجال الصيانة المتقدمة، لتحسين زمن الاستجابة وتقليل متوسط وقت الإصلاح (MTTR).
6. إجراء تحليل جذري لأسباب الأعطال المتكررة من خلال تطبيق منهجيات مثل تحليل السبب الجذري (RCA)، لتحديد نقاط الضعف ومعالجتها بشكل دائم.
7. تطوير نظام إنذار مبكر لمراقبة انحرافات الأداء عن المستويات المستهدفة، باستخدام مؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs)لضمان سرعة اتخاذ القرار.
8. الاستفادة من أفضل الممارسات التشغيلية التي أثبتت فعاليتها في فترات الأداء المرتفع (2012 – 2014 – 2016 -2021) وتوثيقها وتعميمها على باقي الوحدات الإنتاجية.
9. تحديد أهداف تشغيلية كمية قابلة للقياس، مثل رفع التوفر التشغيلي إلى أكثر من 85%، وتقليل معدل الفشل إلى أقل من 15% بشكل مستدام.
10. تحليل أداء المعدات التي أظهرت تدهورًا ملحوظًا بعد عام 2014ووضع خطة علاجية تفصيلية لردم الفجوة، تشمل مراجعة السياسات والإجراءات وجدولة الصيانة.

قائمة المراجع

1. Rakyta, M., Bubenik, P., Binasova, V., Gabajova, G., & Staffenova, K. (2024). The Change in Maintenance Strategy on the Efficiency and Quality of the Production System. Electronics, 13(17), 3449.
2. بن حكومة، مصطفى أحمد (2012)، إدارة الصيانة، دار الوليد للنشر والتوزيع، طرابلس، ليبيا.
3. Ahuja, I. P. S., & Khamba, J. S. (2008). Total productive maintenance: literature review and directions. International Journal of Quality & Reliability Management.
4. Muchiri, P., Pintelon, L., Gelders, L., & Martin, H. (2011). Development of maintenance function performance measurement framework and indicators. International Journal of Production Economics.
5. R. Keith Mobley *(2019),* An Introduction to Predictive Maintenance, 3rd edition, Elsevier Inc.
6. Hansen, R. C. (2020). Overall Equipment Effectiveness (OEE): A Powerful Production/Maintenance Tool for Increased Profits. Industrial Press.
7. Dal, B., Tugwell, P., & Greatbanks, R. (2020). Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement–A practical analysis. International Journal of Operations & Production Managemen*t*, 20(12), 1488–1502.
8. الحديثي، حكمت رامي فؤاد وآخرون (2022)، الاتجاهات الحديثة في إدارة الصيانة المبرمجة، دار وائل للنشر والتوزيع، عمان.
9. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2014). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 3, 18–23.
10. Tsang, A. H. C. (2002). Strategic dimensions of maintenance management. Journal of Quality in Maintenance Engineeri*ng*, 8(1), 7–39.
11. الشنواني، صلاح (2019)، التطورات التكنولوجية والإدارة الصناعية، دار مدبولي للنشر والتوزيع، القاهرة.
12. حديدان، محمد (2012)، أنظمة الصيانة الحديثة ودورها في إدارة الصيانة، رسالة ماجستير غير منشورة في إدارة المشاريع الهندسية، أكاديمية الدراسات العليا، طرابلس.
13. بالنور، محمد سالم (2019)، دراسة وتقييم دور الموازنات التقديرية في الرقابة على شركات الأسمنت: دراسة ميدانية على شركات الأسمنت، رسالة ماجستير غير منشورة في المحاسبة، جامعة طرابلس.
14. بن حكومة، مصطفى أحمد والمبروك، مدحت اسماعيل (2020)، التكامل بين مؤشرات الأداء المالي والإنتاجي قياساً بمؤشرات أداء عمليات الصيانة في تقييم أداء الشركات الصناعية، المجلة الدولية للعلوم التقنية، العدد [21]، أكتوبر، 2020.