African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)
Online ISSN: 2957-644X
Volume 3, Issue 4, October - December 2024
Page No: 17-33
Website: https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/index
ISI 2024: 0.877 **SJIFactor 2024: 6.752** **معامل التأثير العربي: 1.55**

كشف مشكلة عدم الاتزان في المعدات الدوارة ومعالجتها باستخدام أجهزة قياس الاهتزازات

عبد المنعم سليمان المريمي[1*]، عبدا لله السوسي [2]، يحيى حنطيش أحمد [3]، محمد سعد السنوسي [4]
[4،3،1] قسم الهندسة الميكانيكية، المعهد العالي للتقنيات النفطية، البريقة، ليبيا
[2] كلية الهندسة، جامعة درنة، ليبيا
[1] كلية الهندسة التقنية، جامعة النجم الساطع، البريقة، ليبيا

Identifying and resolving imbalance problems in rotating machinery with vibration measurement tools

Abdlmanam S. A. Elmaryami[1*], Abdulla F. Abdulla Sousi[2], Yahya H. Ahmed[3], Mohamed S.[4]
[1,3,4] Department of Mechanical Engineering, The Higher Institute of Petroleum Technologies, El-Brega, Libya
[2] Faculty of Engineering, Derna University, Libya
[1]Faculty of Technical Engineering, Bright Stare University, El-Brega, Libya

[*]*Corresponding author: damer604@yahoo.com*

Received: August 17, 2024	Accepted: September 22, 2024	Published: October 03, 2024

الملخص

قديماً، اعتقد العاملون في الصناعة أن الصيانة وظيفة ثانوية وبالتالي يتم الاكتفاء بتنفيذها بطرق بدائية يسيطر عليها الطابع التقليدي وهو "الإصلاح وقت العطل" أو ما يسمى بالصيانة التصحيحية، وعندها تدفع إدارة المنشأة الصناعية المعنية أضعاف ما يتم توفيره من أموال فيما لو وظفت طرق الصيانة الصحيحة بجميع أنواعها في مواعيدها، ونظراً للتكلفة المالية الباهظة الرأسمالية لمكونات المنشآت الصناعية التي تنفق حتى إكمال المشروع فمن البديهي أن تتم المحافظة على تلك المكونات عن طريق إجراء الصيانة في مواعيدها وهذا يؤدي إلى التقليل من الأعطال وزيادة عمرها الافتراضي. لقد كشفت الأبحاث العلمية المنشورة على أن طريقة الصيانة المعتمدة على مراقبة الحالة (condition-based maintenance) CBM تعتبر طريقة فعالة في الكشف عن كثير من العيوب المخفية في العديد من الميكانيزمات وعناصرها التطبيقية المستخدمة في الصناعة بمرحلة مبكرة، وفي هذه الورقة تم التطرق إليها لأهميتها و محاولة كشف أسرارها وتطبيقها على بعض الأجزاء الميكانيكية وعلى المعدات في شركة رأس لأنوف، حيث تم التركيز على تِقنية تحليل الاهتزازات في المعدات الدوارة باستخدام منظومة وأجهزة لتحليل وقياس الاهتزازات وأجهزة الموازنة الديناميكية، على عدد من النقاط بالتحديد في منطقة مأخذ مياه البحر في شركة رأس لأنوف، وتم أخذ عدد من القراءات لمضخة طرد مركزي على أرض الواقع في الشركة. وتؤكد الدراسات على أهمية استخدام تقنية تحليل الاهتزازات في الصيانة مما يزيد من جودة العملية الإنتاجية لأن الصيانة تعتبر من عناصر الجودة في المقاييس الدولية وكل هذا سيزيد من حجم الإنتاج ويقلل من تكلفة المادة المنتجة.

الكلمات المفتاحية: مضخة الطرد المركزي، تقنية تحليل وقياس الاهتزازات، المعدات الدوارة، أجهزة الموازنة الديناميكية، شركة رأس لأنوف.

Abstract

In the past, those working in the industry believed that maintenance was a secondary function and therefore it was carried out only in ways Primitive and dominated by the traditional nature, which is “breakdown repair” or what is called corrective maintenance. Then the management of the industrial facility in question will pay many times the amount of money saved if it employed the correct maintenance methods of all kinds on time. Given the exorbitant capital financial cost of the components of industrial facilities that are spent until the project is

completed, it is self-evident that those components are preserved by performing maintenance on time. This leads to a reduction in malfunctions and an increase in its lifespan.
Published scientific research has revealed that the CBM (condition-based maintenance) method is considered an effective method in detecting many hidden defects in many mechanisms and their applied elements used in industry at an early stage. In this paper, it was discussed due to its importance and An attempt to uncover its secrets and apply them to some mechanical parts and equipment in Ras Lanuf Company, where the focus was on the technique of analyzing vibrations in rotating equipment using a system and devices for analyzing and measuring vibrations and dynamic balancing devices, on a number of points specifically in the sea water intake area of Ras Lanuf Company, A number of readings were taken for a centrifugal pump on the ground in the company.
Studies confirm the importance of using vibration analysis technology in maintenance, which increases the quality of the production process because maintenance is considered one of the elements of quality according to international standards, and all of this will increase the volume of production and reduce the cost of the material produced.

Keywords: Centrifugal pump, Vibration analysis and measurement technology, Rotating equipment, Dynamic balancing devices, Ras Lanuf Company.

مقدمة

وصفت الباحثة (Moya M. , 2004)الصيانة التنبؤية بأنها ثورة في عالم الصناعة ويرجع ذلك إلى الزيادة في الأمن والأمان، الجودة والجاهزة للمنشآت الصناعية.

وعرفت الباحثة الصيانة التنبؤية كإحدى سياسات الصيانة بحيث تختار بارامترات فيزيائية مرتبطة بالآلات المشغلة ويتم استخدام الحساسات، وأجهزة القياس لقياس القيم وتسجيلها بشكل متقطع أو بشكل مستمر بهدف التحليل والمقارنة وعرض البيانات والمعلومات التي تم الحصول عليها لوضع قرارات دعم متعلقة بتشغيل وصيانة الآلة.

تهدف برامج الصيانة التنبؤية (PMP) إلى:

1. زيادة في جاهزية وسلامة المصنع.
2. تحسين جودة المنتجات.
3. تطوير الصيانة والحد من تكاليفها والقدرة على البحث في الأسباب الجذرية للأعطال.
4. تحسين في كمية ونوعية المعلومات المتاحة عن الآلات.
5. تحسين إدارة مخزن قطع الغيار.
6. تخفيض الزمن اللازم لتسليم الطلبات للعملاء [15] .

في هذا البحث اعتمد برنامج الصيانة التنبؤية على تقنيات تحليل الاهتزاز وتحليل الزيوت وأجزاء تالفة في الآلات وعدم المحاذاة والتشغيل السيئ للآلات والارتخاء في أجزاء الآلة والرنين، نظراً لما تملك هذه التقنيات من أهمية كبيرة في المنشئات الصناعية.

ذكر ((Harder 2010 في بحثه أن نفقات الصيانة والإصلاحات والخدمات تختلف اختلافاً كبيراً من مصنع لآخر ومن شركة لأخرى، وتعتمد هذه النفقات على عدد من العوامل الهامة مثل عمر وحالة المعدات، قدرات المصنع وطريقة تشغيله، التكاليف الخارجية ونفقات الموظفين بالإضافة إلى طريقة تطبيق الصيانة، وكقاعدة عامة إن إصلاحات المصنع ونفقات الخدمة والصيانة يشكلون 20%-5من نفقات التشغيل الإجمالية [16].

في شركة رأس لانوف استخدمت الصيانة المعتمدة على مراقبة الحالة (CBM) Condition Based Maintenance رغم إتباع عمليات الفحص والمعاينة المنتظمة فقد يحدث عطل أو فشل فبأحد العناصر فجأة ويسبب توقف المصنع، لذلك ولمنع حدوث مثل هذه الحالات يتم تنفيذ مراقبة حالة الآلات ومكونات المصنع.

أثبت الباحثون (Norddin.K, et al,2012) لدى تطبيقهم مفهوم الصيانة الإنتاجية الشاملة (Total Productive Maintenance (TPMالمنفذة في معامل الأسمدة فشلا لصيانة غير المخططة والتي تسبب زيادة تكلفة إصلاح الآلة وبالتالي خسارة في الإنتاج، ولاسيما في المعامل ذات الإنتاج المستمر، بالإضافة إلى تطبيق الصيانة التصحيحية (CM)، الصيانة الوقائية (PM)، وسعوا للانتقال من حالة رد الفعل إلى حالة نظام إدارة الصيانة.

ذكر الباحثون العديد من المزايا التي ترافق تطبيق الصيانة الإنتاجية الشاملة (TPM) مثل تخفيض زمن توقف العمل، تحسين موثوقية العمليات، تحسين إدارة قطع الغيار، خفض تكلفة خسائر الإنتاج، تحسين الميزة التنافسية للشركات، أخيراً تم إجراء مقارنة قبل وبعد لتقييم أداء النظام من حيث تخفيض الزمن وتكلفة الإنتاج نتيجة الخسائر.

تم اقتراح اثني عشر تخصصاً كإطار لنظام إدارة الصيانة كدليل للقسم الميكانيكي فيقسم الهندسة في شركة الأسمدة الماليزية تم اختيار (Bucket conveyor) المتحرك102EL كحالة دراسية.

تم تقسيم هذه التخصصات على الشكل الآتي:

A. استراتيجية الصيانة الأساسية هي:

التدريب والتعليم - مؤشرات الصيانة ومؤشرات الأداء الرئيسية (KPIs) Key Performance Indicators .
- الصيانة الذاتية(AM) Autonomous Maintenance - تحديد المعدات الحرجة - تنفيذ الصيانة الوقائية.

B. استراتيجية الصيانة المتوسطة ولها خمسة بنود:

تحليل السبب الجذري للفشل(RCFA) Root Cause Failure Analysis -استراتيجية التزييت والتشحيم - دراسة الموثوقية - Reliability Initiatives إدارة دورة حياة الآلةLife Cycle Management.
- إدارة المخزون (مستودع قطع الغيار).

C. استراتيجية الصيانة المتقدمة:

الصيانة باعتماد مراقبة الحالة- CBM نظم إدارة الصيانة المحوسبة. CMMS

قررت الشركة استخدام TPM لـ 80 آلة واستخدم مخطط باريتو (وهو أحد أدوات ضبط الجودة (لتحديد المعدات الأكثر أهمية والتي لها الدور الأكبر في توقف الإنتاج [17].

طبق الباحثون (Baluch-N et al 2012)الصيانة الإنتاجية الشاملة Maintenance(TPM) Total Productive Maintenance بهدف الوصول إلى قيمة أعظمية لفاعلية المعدات حيث استخدم OEE كمقياس لهذه الفاعلية، ويعتبر OEE مؤشر أداء حيوي للصيانة الإنتاجية الشاملة، يستخدم لتقييم أداء إدارة الصيانة ويساعد في تحديد العوامل المسببة لضعف الأداء (مؤشرات الأداء الرئيسية KPIs هي مقاييس تختارها المنظمة لاستخدامها كمؤشرات لأداء عملياتها.(تم تصميم نموذج لسجل صيانة خدمية يومية وذكر فيه العوامل الرئيسية الثلاثة التي تستخدم لحساب OEE وهي الجاهزية والأداء والجودة ويضم السجل بيانات أخرى وتراوحت قيم OEE بين 0.80 - 0.59.

تقوم الإدارة عن طريق هذه المقاييس بجمع البيانات ذات المعنى والصلة بالموضوع للوصول إلى المعلومات الهامة التي يتم تحويلها بعد ذلك إلى واحد أو أكثر من مؤشرات الأداء. ذكر الباحث أن جمع البيانات من المشغلين لا يمكن الاعتماد عليه فقط، بسبب طول الزمن بين الحدث والتسجيل والذي يقلل من دقة البيانات، حيث يتم تسجيل البيانات في نهاية المهمة أو نهاية التبديل أو التهيئة وقد يصل حتى نهاية الأسبوع. هذه الطريقة سوف تؤثر بتمثيل مؤشرات الأداء، فمن الممكن أن يكون هذا الرقم مبالغ فيه أعلى أو أقل مما هو عليه في الحقيقة لذلك تمت التوصية باستخدام أجهزة استشعار (حساسات) لكي يتم تسجيل جميع البيانات بشكل تلقائي قدر الإمكان وهذه الحساسات يمكن أن توفر البيانات المطلوبة. بالنتيجة إن OEE تؤثر بالموظفين أكثر من غيرهم لذلك فمن المهم مشاركتهم في تتبع OEE في التخطيط وتنفيذ التحسينات للمعدات للحد من فقدان الفعالية. يمكن توجيه الأداء بشكل أفضل على الآلات الصناعية من خلال إجراءات صيانة جيدة للحفاظ على السرعة وإعادة تصميم المنتج إذا لزم الأمر لتحقيق السرعة المثالية المخطط لها. أما تحسين الجودة يمكن أن يكون عن طريق تحسين الصيانة أو تحسين جودة المواد الخام وبالتالي جودة المنتج ... الخ.

أوصى الباحثون بنظام إدارة أمر العمل Work Order (WO)كجزء لا يتجزأ من CMMS يساعد على حفظ التواريخ التشغيلية للآلات ويساعد على تعقب التكاليف المختلفة المتعلقة بالأصول مثل تكلفة العمالة، القطع، الوقود الخ...وبضرورة الاهتمام بالأنشطة التي تقلل من التوقف من أجل تحسين جاهزية المصنع، وهذا يتطلب استدعاء المهندسين، التأكد من وجود قطع غيار أساسية، مواد خام كافية (لا تسبب التوقف بسبب نفادها) وعمال جاهزون للعمل [18].

قدم الباحث (Eugen. P.2011) معايير الصيانة الخمسة وهي: الإشراف على الصيانة الوقائية وجاهزية العناصر، الصيانة التصحيحية بأزمنة مختلفة، تنظيم الصيانة ووجود المؤشرات، تحديد الموارد المتاحة ورصد معدات الصيانة من قبل الشركة المصنعة، كما ذكر أن أفضل إستراتيجية صيانة يجب أن تحدد بتحليل النظام المعطى الذي يستخدم الأدوات والنماذج الملائمة منها الصيانة المتمركزة على الموثوقيةRCM وأمثلة الصيانة اعتماداً على الموثوقية(MOR) Maintenance Optimization by Reliable (MOR) والصيانة الانتاجية الشاملة (IPM) والاعتماد على الصيانة التنبؤية نظراً لأدائها الجيد والهدف هو ضمان سلامة المعدات التي لا يسمح بحدوث الفشل أثناء عملها، وتحقيق الحد الأقصى من مهام الصيانة، وعرف العطل بأنه تغير في/ أو إنهاء قدرة عنصر ما على أداء الوظيفة المطلوبة. تمت التوصية بدمج تكنولوجيا المعلومات (Information Technology (ITفي مجال الصيانة الذي يؤدي إلى تحسين أداء الخدمة بما في ذلك زيادة جاهزية المعدات المحتفظ بها مع التقليل إلى أدنى حد من الموارد المستخدمة. إن السمة الرئيسة لتكنولوجيا المعلومات هو الاستفادة من الموارد المتاحة ويمكن الوصول إليها عن بعد. ويمكن لـIT أن تسمح بالوصول

عبر شبكة الانترنيت إلى المواقع البعيدة لأن موارد التدخل غير موجودة محلياً ولكنها قد تكون حاسمة فيحل التدخل (لإجراء الصيانة) [19].

أكد الباحث (2009Wardhamgh1) أن تحسين أداء الصيانة يمكن أن يكون من خلال جعلها أكثر فعالية وأكثر كفاءة، أي صيانة فعالة تجمع بين كفاءة عالية للمعدات وانخفاض أخطار التشغيل، وتعني الصيانة ذات الكفاءة: إنجاز أعمال الصيانة بشكل صحيح بحيث يتم تحقيق الموثوقية والحد من المخاطر بأقل الموارد والزمن.

كما اعتمد الصيانة العلمية Scientific Maintenance أي إتباع المنهج العلمي في الصيانة من خلال افتراض أثر نتيجة تطبيق الصيانة ثم اختبار الفرضيات والمقارنة، إذا كانت نتيجة التجربة لا تحقق الغرض، كان الاقتراح خاطئاً ، ويجب البحث عن نهج أفضل (مثال: إذا تمت تصفية زيت النظام الهيدروليكي وعلبة السرعة لإزالة جسيمات التآكل يجب زيادة متوسط الزمن بين الأعطال MTBF Mean Time Between Failures (MTBF) ثلاثة أو أربعة أضعاف وإن لم يتم الأمر يتم تعديل قيم الزمن .أكد الباحث أن المنهج العلمي للصيانة يسمح بتحسين الموثوقية والحد من مخاطر التشغيل وتقديم نتائج جيدة واعتماد صيانة استباقية. كان من أهم مؤشرات الأداء KPIs التي اعتمدها الباحث (MTEF) متوسط الزمن بين الأعطال وتمت التوصية بأن يكون أكبر ما يمكن، ومن المهم عند تحديد مجموعة من مؤشرات الأداء الرئيسية للصيانة اختيار المؤشرات التي تعمل على تحسين موثوقية المعدات وأداء الصيانة.

اقترح مبادئ الإدارة المرئية لعرض KPIs بصرياً وليس في قوائم أو جداول، مما يشجع على مراقبة التقدم الحالي في تحقيق الأهداف، تم تحديد ألوان خاصة، الأخضر رمز لعمليات التفتيش الكاملة، الأحمر عمليات تفتيش المتأخرة، والأزرق هي عمليات التفتيش المتبقية التي لم تتم بعد ولكنها لم تتأخر.

وقد أثبت هذا المؤشر نجاحاً كبيراً في إنجاز عمليات التفتيش، بما أن الصيانة هي نشاط مراقبة المخاطر فإن أي عملية تفتيش لم تكتمل تعني مشاكل غير مكتشفة ومن شأنها أن تؤدي حتماً إلى العطل. يسهم تطبيق مؤشرات الأداء الرئيسة في تخطيط وجدولة العمل بالتالي انخفاض عمليات التفتيش المتأخرة بشكل كبير وتراجع لمعدلات الانهيار [20].

في البحث (Domi et al2014)تم اقتراح نموذج لاختيار إستراتيجية الصيانة والإصلاح لأنظمة تكنولوجيا المعلومات information technology (IT) بمساعدة عملية التحليل الشبكي الضبابية(FANP) fuzzy analytic network process وطريقة DEMATEL في مصنع اسمنت طهران، تم وضع51 مؤشراً وقد اعتمد منها 21 مؤشر كعوامل فعالة في اختيار إستراتيجية الصيانة، ذكر الباحثون أن تكلفة الصيانة والإصلاح لبعض الشركات قد تتراوح بين (1596 إلى 709) من تكاليف الإنتاج بالتالي كان هدف النموذج خفض التكاليف وتعظيم العمر الافتراضي، الموثوقية، أداء المعدات وتخفيض تكاليف توقف خطوط الإنتاج بسبب فشل الأجهزة. اقترح الباحث ست فرضيات تؤثر في اختيار إستراتيجية الصيانة وهي: نوع ونموذج فشل معدات نظام IT، مستوى مهارة وتدريب موظفي الصيانة، التكلفة، عمر معدات IT، مستوى تأثير فشل المعدات على اختيار الإستراتيجية، أمن المعلومات، بالنتيجة تم رفض الفرضية الأولى وتأكيد الفرضيات الخمس معا الباقية [21].

طبق كل من الباحثين(Qian and Yonggane 2014) تقنية الصيانة المعتمدة على الحالة (CBM)لوحدة توليد الطاقة الكهرومائية ، الهدف هو تخفيض تكاليف الصيانة المتوقعة لكل وحدة زمن،اعتمدوا في العمل على نموذج Hazard النسبي وهو إجراء إحصائي لتقدير خطر عطل المعدات عندما تكون خاضعة لمراقبة الحالة، أعطت الدراسة نتائج جيدة حيث حققت تكلفة أقل 10% من تكلفة الصيانة التي كانت متبعة، وتتم الصيانة الوقائية خلال فترات زمنية عند أقل تكاليف للتوقف،وإن تقييم التكلفة لتقنية CBM تصبح أكثر تعقيداً عندما يزداد عدد مكونات النظام واختلاف نوع هذه المكونات لذلك أوصت الدراسة بتطوير هذه التقنية للتعامل مع هكذا أنظمة معقدة [22].

قدم الباحثون (Fallalh et al 2013) منهجين من أجل أداء الصيانة الوقائية، الأول منهج تقليدي يستند إلى تحليل الموثوقية والإحصاء لعطل المعدات، المنهج الثاني يتضمن مراقبة لحالات الآلة ليتنبأ بحدوث عطل الآلة ونتيجة التكلفة العالية لهذا النهج فقد تم تطويره إلى صيانة وقائية تقليدية تستند إلى الموثوقية R والإحصاء S رمزها (S+R)- based PM)) مع استدلال بايزن الذي يحاول تحديد نقاط التفتيش المثلى. الهدف هو تقليل متوسط التكلفة المتوقعة، بالنتيجة تبين أن نقاط التفتيش لاستدلال بايزن مع توزيع ويبل تعطي تكلفة أقل نقاط تختلف عن نقاط تفتيش (S+R)-based PM) ذات التوزيع الأسي للزمن. استنتج الباحث أن الجمع بين استدلال باينن وطريقة PM based-(S+R)) التقليدية يمكن أن تجعل PM أكثر قابلية للتطبيق [23].

قدم كل من (Nguyen and Bagajewicz 2010) نموذجاً لصيانة وقائية تتضمن خطة زمنية، وتدرس حجم القوى العاملة ومستوى المخزون من قطع الغيار، كان الهدف تخفيض التكاليف، تعظيم الربح والموثوقية، وذلك في مصنع للعمليات الكيميائية. أنماط العطل التي استقصيا عنها نوعان: عطل كامل بسبب تدهور أجزاء ميكانيكية وعطل جزئي نتيجة خلل في قطعة الكترونية، تم استخدام التوزيع الأسي للفشل، ومقاييس الموثوقية المستخدمة كانت معدل العطل، تابع العطل، أو تابع الموثوقية، واستخدمت خوارزمية الجينات للحصول على التخصص الأمثل للموارد وجدولة الصيانة الوقائية PM، بالنتيجة تبين أن أعطال الأجزاء الدوارة عادة ما تزيد مع الزمن لأنهم تتعرض إلى تدهور تدريجي وهي أثناء التشغيل،

بالتالي موثوقية المعدات تنخفض مع مرور الزمن بالتالي كان من الضروري تقصير الفاصل الزمني لـ PM ضمن الخطة [24].

عمل الباحثون (Dongl et al 2017)على تطبيق تكنولوجيا (Intermet Of Things) على نظام الصيانة التنبؤية لآلات منجم الفحم، لتغيير وضع الصيانة الموجود في المنجم، فالصيانة الوقائية والتصحيحية المتبعة لا تؤمن السلامة الكافية والأهداف. يتكون نظام الصيانة الذي صممه الباحثون من محطة مراقبة لحالة المعدات إذ تم توزيع أجهزة استشعار وحساسات على الآلات الأساسية في المنجم، ومركز رصد لمنجم الفحم مسئول عن تجميع بارامترات تشغيل الآلات وإرسالها إلى مركز أنظمة الصيانة التنبؤية من خلال شبكة الانترنيت وتخزن البيانات ضمن قاعدة البيانات الموجودة في أجهزة كمبيوتر طرفية. بالنتيجة ذكر الباحثون أن نظام الصيانة القائم على انترنيت الأشياء يمكن من تحديد العطل وتوقع الخطر المحتمل بدقة ويحقق تشغيل آمن وفعال لآلات المنجم [25].

استخدم (Yip,H.L et al 2014) منهجية Box-Jenkins للسلاسل الزمنية للتنبؤ بتكاليف صيانة معدات البناء حيث إن التنبؤ الدقيق بتكلفة الصيانة في المستقبل يسهل مهام دعم اتخاذ القرار،وتحديد ميزانية المعدات، وتخطيط الموارد واستبدال الآليات، وذكروا أن تكلفة الإصلاح تشكل 37%من تكلفة الآلة على مدى عمرها الافتراضي، كما أكدوا أن النمذجة الإحصائية توفر أفضل منهج تنبؤي التكاليف الصيانة، اعتمدوا البيانات التاريخية للتكاليف ودرسوها كسلسلة زمنية، ولتحسين النموذج التنبؤي أضافوا استهلاك الوقود كسلسلة زمنية أخرى، بالنتيجة كانت السلسلة مستقرة والنموذج التنبؤي للتكاليف كان من نوع الانحدار الذاتي والمتوسط المتحرك التكاملي Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)ولم تحدد درجته [26].

بحث (Deb.C et al 2017) في استهلاك طاقة الأبنية كسلسلة زمنية مدعومة بأجهزة المراقبة التي يتم نشرها في المباني، حيث تم تسجيل استهلاك الطاقة كل ساعة، أكدوا أن نماذج التنبؤ لها أهمية كبيرة في مراقبة استهلاك الطاقة والكشف عن الأخطاء في أنظمة البناء والتنبؤ باستهلاك الطاقة يؤثر على معدات الطاقة وصيانتها، وتم التركيز على النموذج ARMA ولم تحدد درجته [27].

قدم (Yingfeng et al 2016)تطبيق منهجي شامل للإنتاج النظيف Cleaner production (CP)ثم جمع البيانات الضخمة من مصادر متنوعة تشمل التغيرات في جميع مراحل دورة حياة المنتج المتعلقة بالإنتاج، التصنيع، الصيانة، الخدمة، إعادة التدوير، إعادة التصنيع، إعادة الاستخدام، النفايات، وقدتم البحث على ضاغط محوري واستخدمت تقنيات التنقيب في البيانات كالتصنيف، العنقدة، قواعد الارتباط، بعدها تم استخلاص المعلومات والمعرفة التي ساعدت في تحسين عمليات التصنيع والصيانة واستهلاك الطاقة وما يرافقها من تقليل للنفايات والانبعاث حفاظاً على البيئة[28].

استند (Robert et al 2016) في بحثهم على تقنيات التنقيب في البيانات من أجل تخطيط أنشطة الصيانة ودعم جودة المنتج، وجاهزية المصنع المثلى وانخفاض تكاليف الصيانة وذلك اعتماداً على البيانات التاريخية للجودة والآلة وتم استخلاص المعلومات من مجموعة البيانات الضخمة معتمدين مجموعة من الخوارزميات [29].

قدم (Bastos et al 2016) بحثاً عن صيانة الأجهزة الإلكترونية لمكونات صناعة السيارات، وشملت قاعدة البيانات اسم العطل أو رقمه، نوعه، تاريخه، تعريف بالجهاز أو الآلة (رقمها)، حيث تم جمع البيانات من قبل (عمال، مراقبين، تقنيين، زبائن) تم وضعهم على أجهزة مختلفة، تم استخدام تقنيات التنقيب في البيانات وهي التصنيف والعنقدة وقواعد الاقتران، بالنتيجة تم تحديد علاقات بين بعض الآلات وبعض أسباب الأعطال، بالتالي يمكن التنبؤ بتدخل جديد لنفس النوع في الآلة ذاتها، تم فقط التنبؤ باحتمال حدوث عطل ولم يتم التنبؤ بزمن العطل [30]. تصميم آلات مختلفة لدراسات محددة[31-34].

أولاً: الصيانة (Maintenance)

الصيانة عبارة عن مجموعة الإجراءات وسلسلة العمليات المستمرة التي يجب القيام بها بهدف وضع الآلة في وضع الاستعداد التام للعمل.

1. أهداف الصيانة:

الصيانة عملية مستمرة حتى في حالة توقف الآلة أو المعدة عن العمل وذلك لما تتعرض له تلك المعدات والآلات من عوامل تؤثر عليها مثل التآكل والصدأ خلال فترة عمرهـا التشغيلي وتظهر أهمية الصيانة عندما تحقق الأهداف المرجوة منها، ومن هذه الأهداف:

1. المحافظة الدائمة على الحالة الجيدة للآلات أو المعدات وضمان حسن الأداء وبالتالي جودة وزيادة الإنتاج.
2. زيادة العمر الافتراضي للآلات وبالتالي الحصول على عائد اقتصادي كبير.
3. الإقلال من حدوث الأعطال وما تسببه من خسارة اقتصادية نتيجة توقف عملية الإنتاج وتكـاليف إعادة التشغيل.
4. تحقيق ظروف تشغيل مستقرة وبالتالي زيادة شروط ومناخ السلامة الصناعية لمواقع العمل.

5. تحديد تكاليف الإصلاح وإدراجها ضمن الموازنة العامة للمنظومة.

تنقسم الصيانة إلى ثلاثة أقسام رئيسية:

أولاً: الصيانة التصحيحية:

يستمر العمل بالمعدة إلى أن يحدث العطل فجأة وبدون مقدمات وما قد يصاحبه من خسائر ثانوية ربما تزيد قيمة الخسارة المادية والبشرية عما قد ينتج عن المسبب الرئيسي لحدوث العطل، فيتوقف الإنتاج وتبدأ عمليات الصيانة والإصلاح وتوفير قطع الغيار اللازمة، مما يستغرق وقتاً طويلاً، وما يتبعه ذلك من آثار سلبية على العملية الإنتاجية.

ثانياً: الصيانة الوقائية:

على الرغم من وجود صيانة دورية على فترات زمنية محددة، إلا أن ذلك لا يمنع حدوث عطل فجائي بعد الصيانة الدورية السابقة، إلا أن الخسائر تكون في الغالب أقل من النوع السابق كما أن الصيانة تستغرق وقتاً أقل ولكن توقف الإنتاج الفجائي، وما يتبعه من آثار سلبية، لم يمكن منعه أو التغلب عليه.

ثالثاً: الصيانة التنبؤية:

بالمراقبة المستمرة لحالة المعدات وأسلوب أدائها، ومتابعة أخذ قراءات أجهزة قياس الاهتزازات وتحليل النتائج وتقييمها، يمكن تشخيص حالة المعدات، وتحديد العيوب التي سوف تؤدى إلى الأعطال قبل حدوثها، بل وتحديد الزمن المتوقع لحدوثها، وبذلك يمكن تجهيز قطع الغيار اللازمة وتحديد الموعد المناسب لإجراء الصيانة اللازمة، بما يتفق مع حالة المعدة وخطة الإنتاج. وهذا يؤدى إلى خفض التكلفة وتقليل الخسائر والمحافظة على سير العملية الإنتاجية.

تجرى عمليات الصيانة التنبؤية علي أساس حالة المعدة، يتم ذالك بمراقبة حالة المعدة، وأي تغير في الحالة يتم ملاحظته، بناءً على ذالك يتوقع الزمن المتبقي لحدوث العطل، يكون ذلك مصحوبا أيضا بتشخيص سبب العطل، وتحديد العيوب في المكونات الأخرى، و يتم التعامل مع كل معدة على حِدا، وذلك بتحديد وتثبيت فترات أخذ قراءات وقياسات الحالة للتعرف على حالة المعدة، وبذلك فإن إجراء الصيانة يُسمح فقط عندما تُظهر القياسات أن ذلك ضروريا[1-5].

2. الصيانة التنبؤية (Predictive Maintenance)

1. الصيانة التنبؤية هي أسلوب الصيانة بناءً على الحالة، وتجرى عمليات الصيانة على أساس حالة المعدة، ويتم ذلك بمراقبة حالة المعدة، وأي تغير في الحالة يتم ملاحظتـه، وبناءاً علـى ذلـك يتوقع الزمن المتبقي لحدوث العُطل، ويكون ذلك مصحوباً أيضا بتشخيص سبب العطل، وتحديد المكونات المتأثرة بالعطل .
2. إجراء الصيانة يسمح فقط عندما تظهر النتائج أن ذلك ضرورياً.
3. يتم أخذ القياسات المرجعية للمعدة في الحالات التالية:
   - عندما تكون المعدة جديدة.
   - بعد تجديدها حديثا.
   - أو إذا وجد أنها تعمل بحالة جيدة.
4. قياس الاهتزاز يؤخـذ بشكل مستمر أو علـى فترات منتظمة، ويتم مقارنتها مع المستوى المرجح.
5. إذا كانت الزيادة في مستوى الاهتزاز عند أي تردد تجاوز مستوى التحذير المعـرف مـن، فإن المعدة تراقب أكثر وبشكل متكرر وتُجدول صيانتها.
6. لحماية المعدات المهمـة مـن الأعطال الكارثية نتيجة حدوث تغيرات مفاجئة، يجب تطبيق نظام مراقبة الأمان ، ليمكن إيقاف الماكينـة فـي الوقـت المناسـب، وإجـراء الصيانة لها قبل حدوث الكارثة.

1.2. مميزات استخدام الصيانة التنبؤية

يحقق استخدام تقنيات الصيانة التنبؤية عدة مزايا للمنشأة الصناعية من أهمها:

- زيادة عمر الماكينة.
- تقليل وقت توقف الإنتاج.
- خفض النفقات المصروفة على العمالة وقطع الغيار.
- تحسين جودة المنتج بصفة عامة.
- تحسين بيئة العمل والأمن الصناعي.
- توفير الطاقة.

- تخفيض النفقات بنسبة تتراوح ما بين 8 إلى 12 % مقارنة باستخدام الصيانة الوقائية.

2.2. عيوب استخدام الصيانة التنبؤية

إن عيوب الصيانة التنبؤية تكمن في التكلفة العالية، حيث إن تدريب العاملين على تطبيقها في المصنع بكفاءة وفعالية يتطلب تمويلاً كبيراً، وكذلك تعتمد بشكل كبير على المعلومات المسجلة والتفسير الصحيح لهذه المعلومات، رغم العيوب السابقة، فإن الصيانة التنبؤية وفق الدراسات الاستقصائية المستقلة تؤمن وفورات صناعية، حيث يمكن تخفيض تكاليف الصيانة من 25% إلى 30%، وتصل عائدات الاستثمار إلى 10 مرات أفضل، والقضاء على الأعطال من 70% إلى 75%، تخفيض زمن التوقف عن العمل 35% إلى 45%، الزيادة في الإنتاج 20% إلى25% ، وتخفيض النفقات بنسبة تتراوح ما بين 8 إلى12 % مقارنة باستخدام الصيانة الوقائية [6-10].

3.2. أهم التقنيات الحديثة المستخدمة في الصيانة التنبؤية

1. **قياس الاهتزازات الميكانيكية وتحليلها Vibration Measurements Analysis**

يوفر معلومات ذات جودة عالية عن الحالة الصحية للمعدات، ويتم تسجيل قراءات الاهتزاز باستخدام جهاز الكتروني محمول باليد أو قد يركب مع الآلة ويحدد فريق الصيانة مكانه بدقة.

2. **تحليل الزيوت Oil Analysis**

يقوم فريق الرصد بأخذ عينات من الزيت المستخدم في آلات الشركة ثم اختباره ليتم مقارنة نتائج الاختبار مع مجموعة من قيم حدود أداء الزيت، مثل محتوى الماء والشوائب، بعدها يقوم الفريق بإجراء تقييم لكل عينة لتحديد ما إذا كانت هناك أي انحرافات عن هذه الحدود والعمل على معالجتها.

3. **الأشعة تحت الحمراء Infrared Thermograph**

تستخدم لقياس الطاقة الحرارية (الأشعة تحت الحمراء) المنبعثة من الآلة، وهذه الأشعة تشبه الضوء المرئي ولكن لا يمكن كشفها بالعين المجردة، ويتم أيضاً استخدام الكاميرات الحرارية والبرمجيات التي توفر العديد من البيانات عن حالة المعدات وهي تستخدم مثلاً للمعدات الحرارية، والمعدات الكهربائية، والسخانات، والمحركات والمعدات دوارة [11-14].

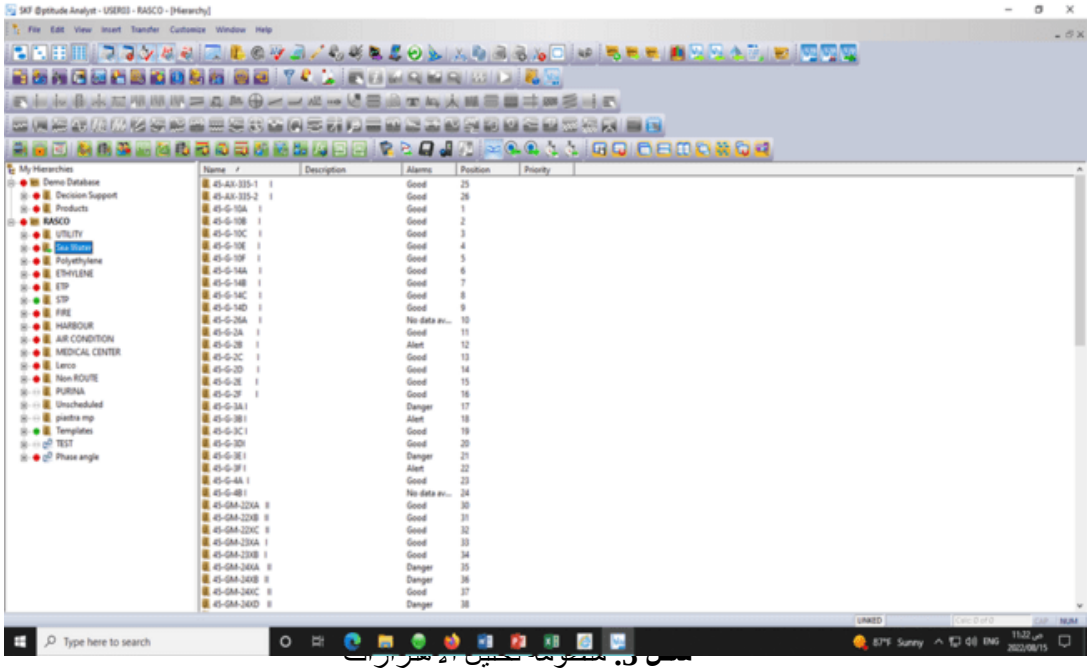
ثانيا: كيفية الكشف عن مشكلة عدم الاتزان في المعدات الدوارة ومعالجتها باستخدام أجهزة قياس الاهتزازات

من (قسم متابعة المعدات الدوارة - بشركة رأس لانوف لتصنيع النفط والغاز) وبالتحديد من (مأخذ مياه البحر inteak sea water) تم أخذ قراءات الاهتزاز على مضخة طاردة مركزية عمودية (Vertical centrifugal pump) بها معدل اهتزاز عالي كما هو موضح بشكل 1.

شكل 1. مضخة طاردة مركزية عمودية (TAG No. (45-PM-9B للدراسة من بشركة رأس لانوف.

تم أخذ القراءات عن طريق مجمع بيانات (Data Collector) من نوع (Analyzes AX SKF Microlog) كما موضح في الشكل 2 وتحليلها بواسطة منظومة ((Softwareتحليل الاهتزازات PtitudeAnalyst @ SKF)) كما موضحة في الشكل 3.

شكل 2. جهاز SKF Microlog Analyzes AX



شكل 3. منظومة تحليل الاهتزازات

ملاحظة:

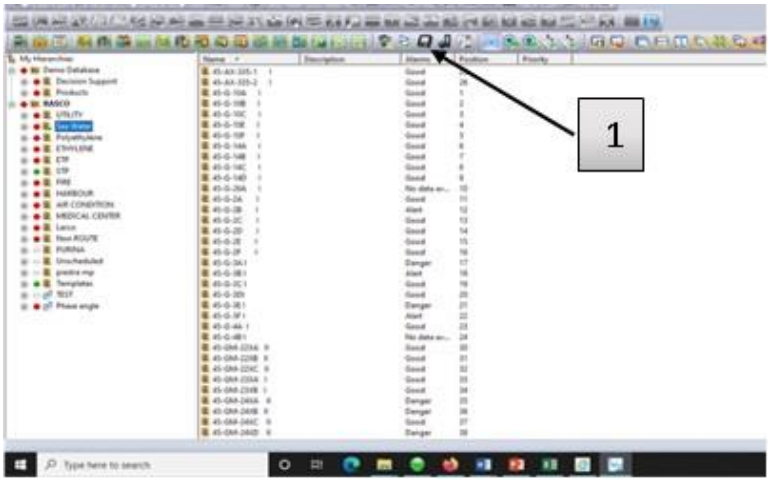
تحتوي كل معدة في المنشأة الصناعية على (tag number) خاص بها، مدرج مسبقاً في المنظومة.

ثالثاً: خطوات اخذ القراءات وتحليلها:

الخطوة الأولى:

تحميل بيانات المعدة (B9-PM-45) من المنظومة إلى مجمع البيانات (Data collector).

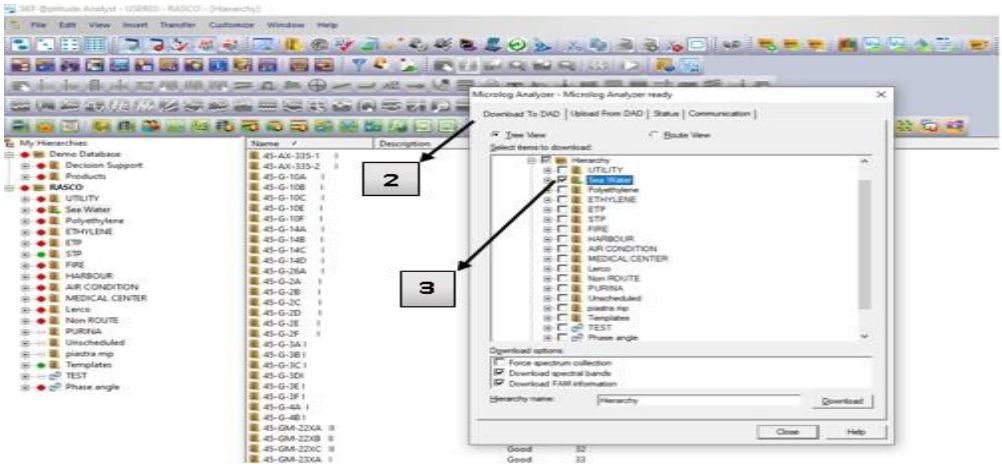
1. يتم النقر على الأيقونة (Microlog Analyzer Transfer).



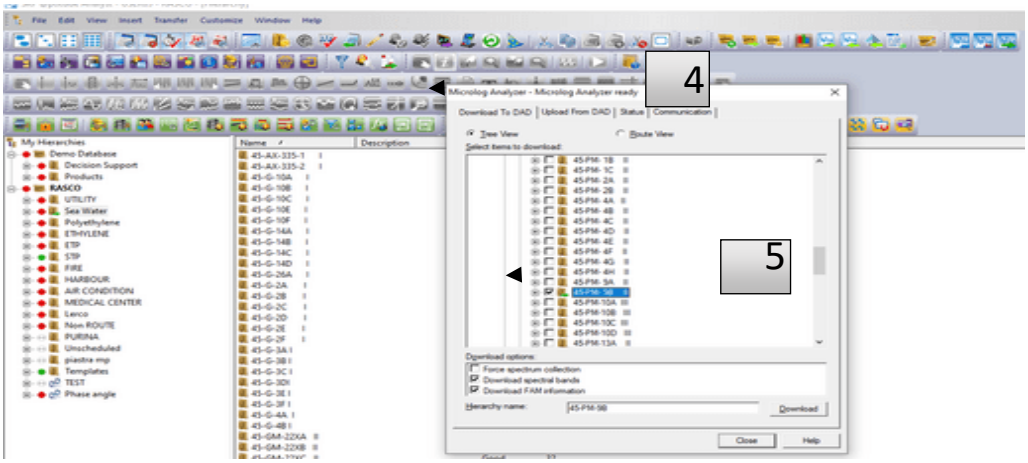
شكل 4. منظومة تحليل الاهتزازات.

2. يتم اختيار الأمر Download to dad

3. من المنطقة Sea water تختار المعدة بالنقر عليها عن طريق Tag No خاص بها السابق ذكره PM-9B-45و تحمل على المنظومة وتظهر هذه الخطوات في الشكلين5 و 6



شكل 5. منظومة تحليل الاهتزازات.



شكل 6. منظومة تحليل الاهتزازات.

الخطوة الثانية:

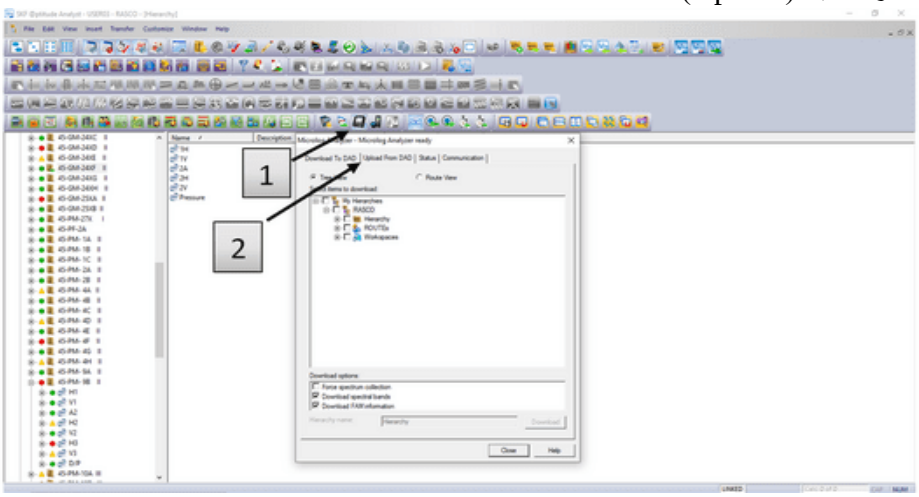
يتم أخذ القراءات في نقاط تواجد كراسي التحميل (Bearings) على المضخة.

شكل 7. يوضح Vertical centrifugal pump

الخطوة الثالثة:

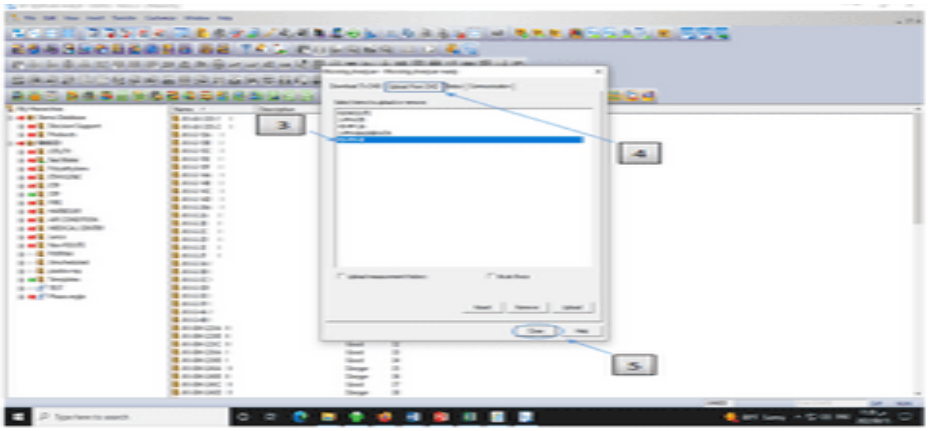
بعد أخذ القراءات على المعدة يتم تحميل (Upload) القراءات من مجمع البيانات (data collector) إلى المنظومة حسب الخطوات التالية:

1. بالنقر على الأيقونة (Microlog Analyzer Transfer)
2. ثم اختيار الأمر تحميل (Upload)



شكل 8. منظومة تحليل الاهتزازات.

3. ثم بعد تحديد المعدة المطلوبة يتم اختيار الأمر (Upload)
4. و بالتالي بعد اكتمال التحميل يتم النقر على الأمر (Close) كما في شكل 9.



شكل 9. يوضح منظومة تحليل الاهتزازات.

الخطوة الرابعة:

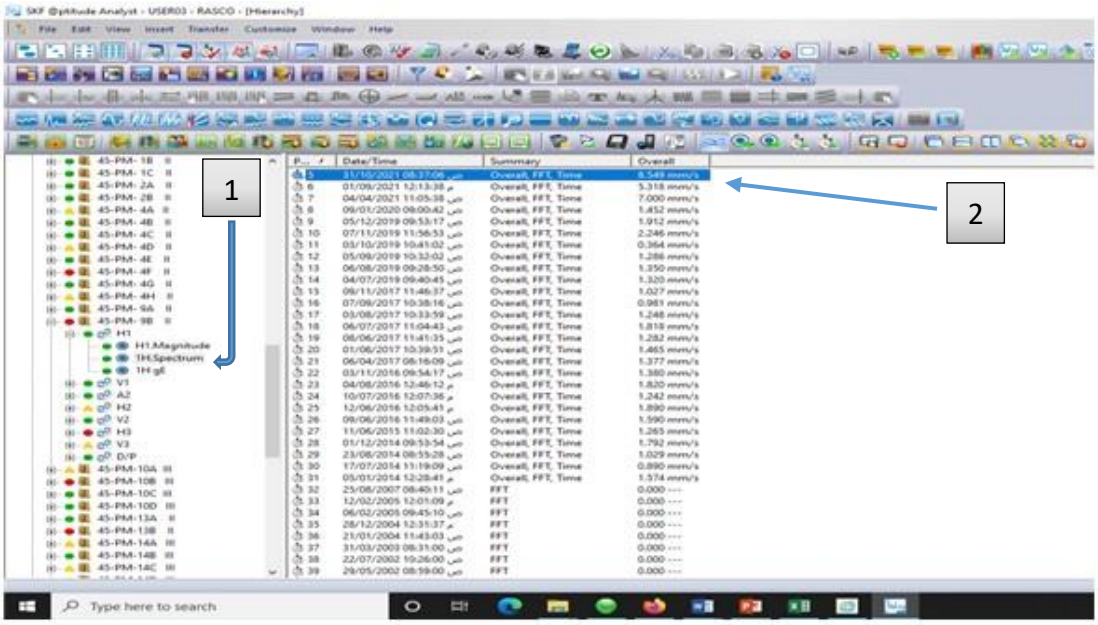
هي عبارة عن تحليل للبيانات في المنظومة ويتم التحليل علي أعلي قراءة مأخوذة، جدول يوضح قيم Amp لكل نقطة على المضخة بوحدة mm\sec

جدول 1. يبين Equipment Tag No (45-PM-9B) قبل المعالجة.

Position	1	2	3
Horizontal	8.55	5.50	1.86
Vertical	7.96	5.79	2.54
Axial		1.74	

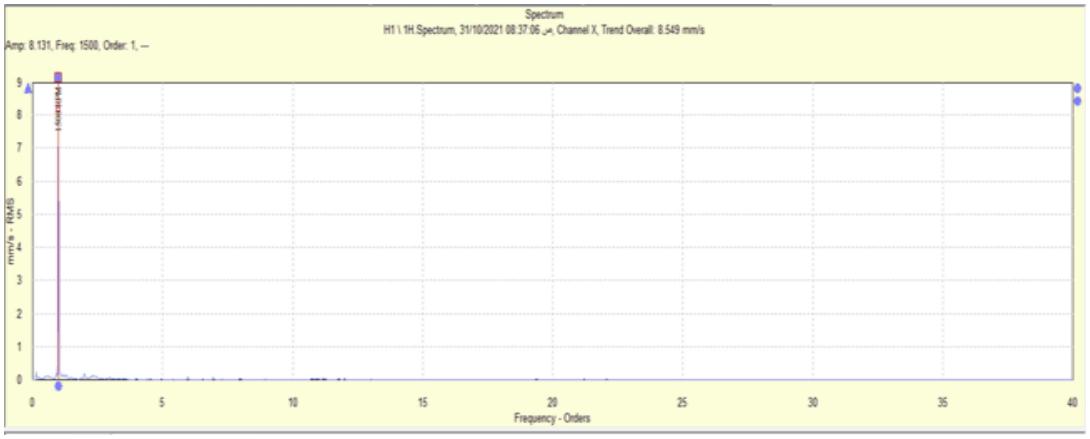
نلاحظ من القراءات المأخوذة أن أعلى قراءة تم تسجيلها كانت في النقطة الأولى بالاتجاه الأفقي H_1، وهي 8.549mm\sec، وحسب جدول معدل القبول فإن هذه القراءة واقعة في حالة عدم القبول (Not Acceptable) حسب Class المعدة.

بعد التحميل نقوم بتحليل لهذه القراءات على المخطط الطيفي (Spectrum) ثم من آخر قراءة مدرجة، كما موضح في الشكل 10.



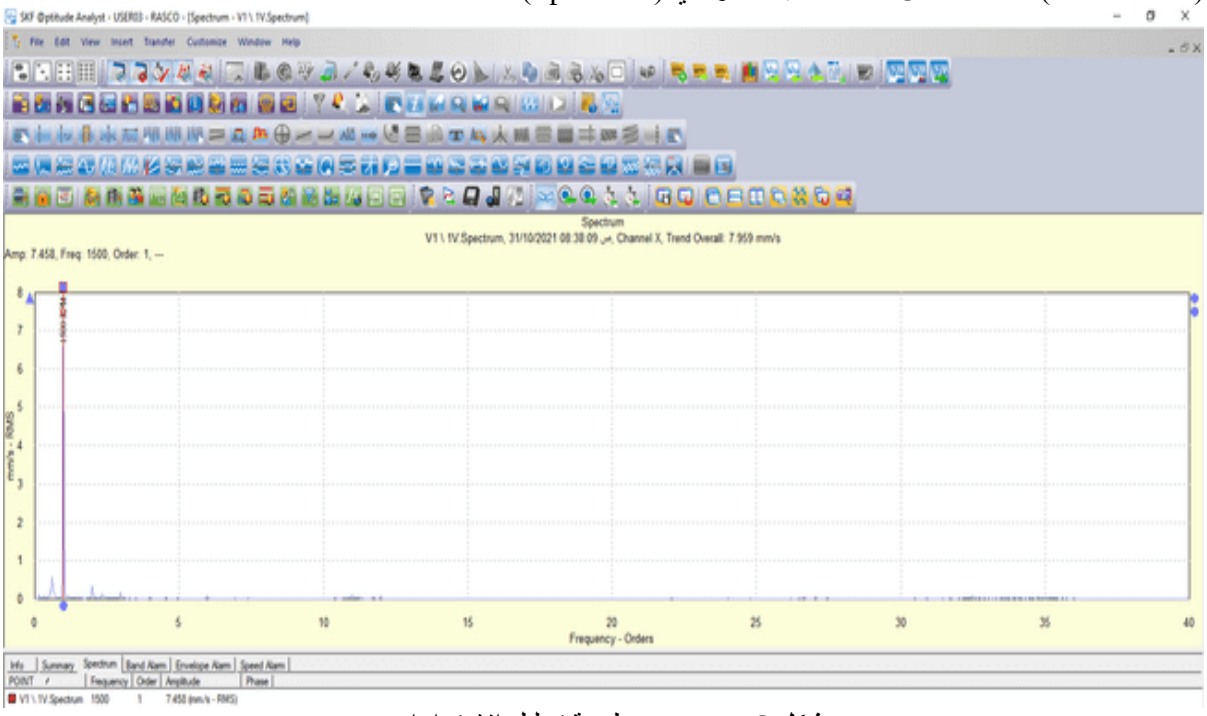
شكل 10. يوضح منظومة تحليل الاهتزازات.

فكان شكل الطيف الترددي Spectrum لهذه القراءة كما في شكل 11 الآتي:



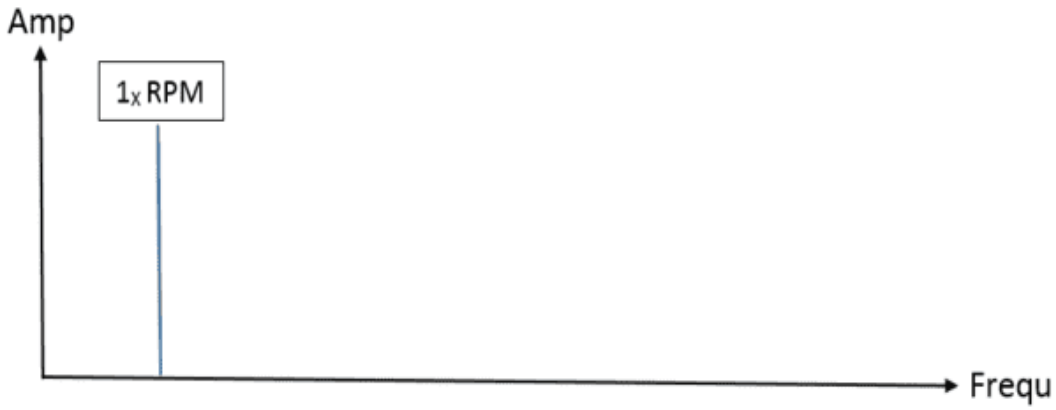
شكل 11. يوضح منظومة تحليل الاهتزازات.

وكذالك عند تحليل ثاني أعلى قراءة والتي كانت في النقطة الأولى في الاتجاه العمودي (V1)، التي سجلت (s/7.959mm)، فأنتجت نفس الشكل للطيف الترددي (Spectrum)



شكل 12. يوضح منظومة تحليل الاهتزازات.

تبين من **الشكل** الناتج للطيف الترددي (Spectrum) أن هناك مشكلة عدم أتزان في هذه المعدة.
ينتج عن عدم الاتزان تردد اهتزاز مساوي تماما لسرعة الدوران مع سعة تتناسب مع مقدار عدم الاتزان، كما موضح في الشكل 13.



شكل 13. يوضح الطيف الترددي

وهذا يوضح لنا بأن الاهتزاز في (Radial direction)، قد يحدث في حالة وجود منطقة ثقيلة في الجزء الدوار من المحرك أثناء دورانه أي أن مركز الثقل للأجزاء الدوارة وقع خارج محور الدوران.
ومن هذه المعطيات تم عمل الإجراء (Action) لهذه المعدة وهو إجراء عملية موازنة للجزء الدوار (Trim balance)، أي عمل توازن كامل للقطع في المعدة وإحالة هذا التقرير لقسم الموازنة الديناميكية لتنفيذ العمل.

رابعا: الموازنة (Balancing):

تعرف الموازنة على أنها العملية التي تجعل مركز الثقل للمكون الدوار، أقرب ما يمكن إلى محور الدوران الخاص بها.
عندما تكون آلة غير متوازنة، فإنه يمكننا تحقيق الموازنة عن طريق، إضافة وزن أو إزالته لتحقيق الاتزان المطلوب.
ولكن نحتاج إلى تحديد مقدار وموقع الوزن الذي يجب إضافته أو إزالته، و هذا ما سيحدده (جهاز الموازنة).

جهاز الموازنة (SCHENCK Smart Balancer):

هو عبارة عن جهاز يستخدم لضبط أتزان الأجزاء الدوارة لآلة ما، مثل ضبط اتزان أعمدة الدوران في المحركات الكهربائية، وضبط المراوح والتوربينات والمضخات وغيرها .

شكل .14 يوضح جهاز الموازنة.

حقيبة جهاز الموازنة

شكل .15 يوضح حقيبة جهاز الموازنة.

خامسًا: خطوات موازنة معدة دوارة بواسطة جهاز الموازنة (SCHENCK Smart Balancer):

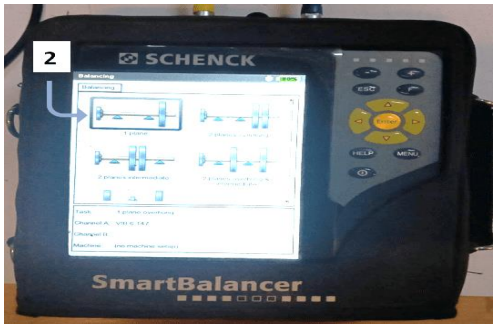
ملاحظة:

قبل البدا في الخطوات نقوم بتشغيل المعدة وفحص المعدة بشكل عام ننظر في قاعدة المعدة ونتأكد من إحكام البراغي والغطاء الخارجي للمعدة على بأنها سليمة من أي عيوب، بعد التأكد نطفئ المعدة ونبدأ في الخطوات.

- 1نبدأ بتشغيل جهاز الموازنة، الموضح

شكل 16. يوضح جهاز الموازنة.

2. نختار شكل المعدة على الجهاز.



شكل 17. يوضح جهاز الموازنة.

3. نقوم بتوصيل حساس السرعة (TACHOMETER) في الجهاز وتثبيته بشكل جيد مقابل العمود الدوار لأخذ قراءة سرعة المعدة كما هو موضح في الشكل 19.

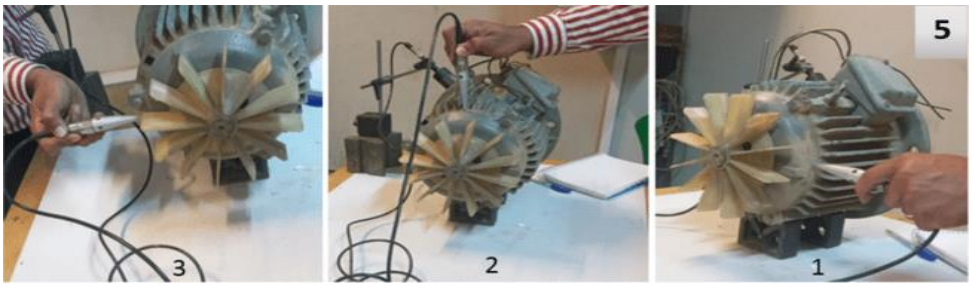
4. نضع الشريط العاكس (reflect tape) على العمود الدوار لتعيين نقطة الصفر على الجهاز، لدورة كاملة 360 درجة.

شكل 18. يوضح الوضعية الصحيحة لحساس السرعة.

ملاحظة:

قبل البدء في تثبيت الشريط نقوم بتنظيف العمود الدوار بشكل جيد، حتى لا تحدث مشكلة أثناء قراءة الجهاز.

5. نقوم بتشغيل المعدة، وننقر على (Start) في الجهاز ثم عند كل زاوية 09^0 نأخذ قراءة بحساس الاهتزازات (Vibration Probe) ، ثم (نأخذ قراءة ثلاث زوايا على الأقل).

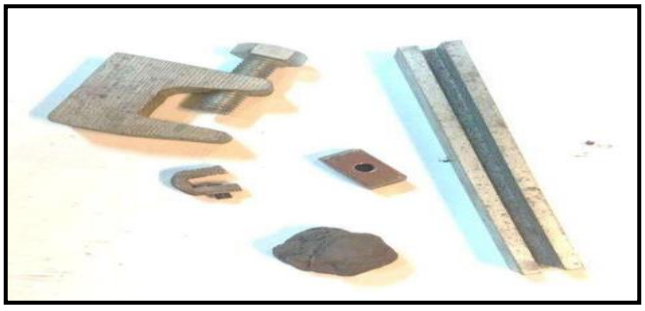


شكل 19. يوضح اخذ قراءات الموازنة.

6. نضع مسطرة قياس الزاوية على المروحة ونجعل نقطة الصفر في المسطرة موازية لنقطة الصفر في العمود حتى يتم معرفة زاوية الموازنة على المروحة.

شكل 20. يوضح وضعية المسطرة الصحي بعض من أشكال الأوزان التجريبية والأوزان الدائمة.

بعض من أشكال الأوزان التجريبية والأوزان الدائمة.



شكل 21. يوضح الأوزان التجريبية.

شكل 22. يوضح الأوزان الدائمة.

بعد إتمام عملية الموازنة للمعدة، تم أخذ قراءات الاهتزاز مرة أخرى وكانت معدلات الاهتزاز كما هو موضح بالجدول التالي:

جدول 2. يبين Equipment Tag on (45-PM-9B) بعد المعالجة.

Position	1	2	3
Horizontal	1.53	1.19	0.87
Vertical	1.26	0.85	0.91
Axial		1.37	

لوحظ انخفاض في مستوى الاهتزاز في النقاط (V1،H1)، كما هو موضح في الجدول(2-4)،وبالتالي انتقال المعدة من حالة عدم القبول (Not Acceptable) إلى حالة القبول (Acceptable).

جدول 3. يبين قبل المعالجة وبعد المعالجة.

	Before balancing	After balancing
H_1	8.55 (mm/s)	1.53 (mm/s)
V_1	7.96 (mm/s)	1.26 (mm/s)
A_2	1.74 (mm/s)	1.37 (mm/s)
H_2	5.50 (mm/s)	1.19 (mm/s)
V_2	5.79 (mm/s)	1.37 (mm/s)
H_3	1.86 (mm/s)	0.87 (mm/s)
V_3	2.54 (mm/s)	0.91 (mm/s)

الخاتمة والتوصيات (Conclusions and recommendations)

الخاتمة:

إن استخدام تقنية تحليل الاهتزازات فعالة بشكل كبير في إجراء عمليات الصيانة ومراقبة حالة المعدات وذلك يؤدي إلى توفير كبير في تكاليف الإنتاج عن طريق تخفيض زمن توقف خطوط الإنتاج وزمن إصلاح هذه الخطوط.

الاستخدام الصحيح والفعال لتقنية تحليل الاهتزازات فيكشف أعطال عدم الاتزان في المعدات الدوارة يؤدي إلى كشف مبكر للعيب قبل تحوله إلى عطل يستلزم مدة زمنية وكلفة كبيرة في الصيانة.

استخدام تقنية تحليل الاهتزازات يؤدي إلى تخفيض تكاليف الصيانة فبهذه المعدات لم نعد مقيدين بالعمر الافتراضي لقطع الغيار على سبيل المثال.

استخدام تقنية تحليل الاهتزازات على المعدات وذلك عن طريق كشف العيوب في مراحلها الأولى والقضاء عليها قبل تحولها لأعطال كبيرة.

التوصيات:

1. ضرورة تفعيل واستثمار تقنية تحليل الاهتزازات ضمن خطط الصيانة الوقائية للشركات والمصانع في ليبيا، وبالتالي تطبيق خطة صيانة تنبؤية مبنية على مراقبة حالة المعدات.
2. تأسيس فريق عمل متخصص ضمن طاقم الصيانة التنبؤية في المجمعات الصناعية مهمته بمراقبة معدل الاهتزازات في المعدات وتحليلها واكتشاف عيوبها ورفع تقارير عن حالتها لإدارة الصيانة في المنشأة لاتخاذ الإجراءات المناسبة.

3. عمل دورات تدريبية لطاقم الصيانة للتعريف بأهمية هذه التقنية والطريقة المثلى لاستثمارها.

هذه الورقة بحثت في أهمية استخدام تقنية تحليل الاهتزازات في خطط الصيانة التنبؤية في شركة رأس لانوف بشكل خاص والصناعة بشكل عام، يمكن أيضاً لدراسات مستقبلية أن تبحث في أهمية وانعكاس استخدام تقنية تحليل الاهتزاز في صيانة خطوط إنتاج بمصنع الحديد والصلب الناشئة في قطرنا بالإضافة لاستخدام تقنيات أخرى كتحليل الزيوت والتصوير الحراري في الصناعات الثقيلة بشكل عام.

المراجع:

1. أعمال الصيانة أنواع وتعاريف الدكتور المهندس محمد منذر القادري.
2. Mather, D. (2008) "The value of RCM" Plant Services
3. الاتزان والاهتزازات الميكانيكية – الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج في المملكة العربية السعودية.
4. تحليل أعطال الماكينات الدوارة ووقايتها وصيانتها – أ.د / محمد سامي الجيار.
5. www.mobiusinstitute.com
6. https://xyobalancer.com/vibration-in-rotating-equipment
7. معدل القبول العالمي (ISO 10816-1:1995E).
8. الآلات الدوارة، الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج في المملكة العربية السعودية. (تم الإطلاع)
9. رسالة ماجستير: جامعة أبو القاسم سعد الله الجزائري :2015\2 المؤلف معمري حليمة. (تم الإطلاع).

[10] Vibration training course book category I. (تم الإطلاع).

[11] Vibration training course book category II. (تم الإطلاع).

[12] https://www.rexnord.com/home.aspx . (تم الإطلاع).

[13] https://symphonyindustrial.ai .(تم الإطلاع).

[14] https://www.pcb.com . (تم الإطلاع).

[15] Moya.M.(2004). The control of the setting up of a predictive maintenance programme using a system of indicators. Elsevier science direct. Omega 32, 57 – 75.

[16] Harder.J.(2010). Current modernization and maintenance, concepts in the cement industry. One Stone Consulting Group, Buxtehude/Germany ZKG INTERNATIONAL No. 5, p 24-28.

[17] Norddin. K, Saman M. (2012). Implementation Of Total Productive Maintenance Concept in A Fertilizer Process Plant. JurnalMekanikal, No 34, 66-82.

[18] Baluch N., Abdullah S., Mohtar. S. (2012). Measuring OEE in Malaysian Palm Oil Mills. Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business, copyright. vol4, NO2.

[19] Eugen. P. (2011). How To Choose the Best Maintenance Strategy for A Company. Annals of the Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume 2, NR3 University of Timişoara.

[20] Wardhaugh J. (2009). Useful Key Performance Indicators for Maintenance. Singapore IQPC Reliability and Maintenance Congress presentation. Rossmoyne, WA, 6148 australia.

[21] Dorri M, Kazemipour. H, Peydaei. M. (2014). Proposing A Model For The Selection Of Repair & Maintenance Strategy For IT Systems With The Help Of Dematel& ANP Fuzzy Process. Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review Vol. 3, No.6.

[22] Qian. X ,Yonggang. W.(2014). Condition based Maintenance Optimization for the Hydro Generating Unit with Dynamic Economic Dependence, International Journal of Control and Automation, Vol.7, No.3 , pp.317-326.

[23] Nezhad.M.S, Mostafaeipour .A, Sajadieh.M.S.(2014). Implementation of traditional (S-R)- based PM method with Bayesian inference. International Journal of Industrial Engineering & Production Research, Volume 25, Number 1 , pp 27—32.

[24] Nguyen.D, Bagajewicz.M.(2010). Optimization of Preventive Maintenance in Chemical Process Plants. School of Chemical, Biological and Materials Engineering, The University of Oklahoma, Ind. Eng. Chem. Res. 49, 4329–4339.

[25] Dong.L, Mingyue.R, Guoying.M.(2017). Application of Internet of Things Technology on Predictive Maintenance System of Coal Equipment. Authors. Published by Elsevier. China, Procedia Engineering 174 ,885 – 889.

[26] Yip,H.L,Fan.H,Chiang.Y.H.(2014). Predicting the maintenance cost of construction equipment: Comparison between general regression neural network and Box–Jenkins time series models. Science Direct. Hong Kong Polytechnic University, Automation in Construction 38,30– 38.

[27] Deb.C, Zhang.F, Yang. J, Lee.S, Shah. K.(2017). A review on time series forecasting techniques for building energy consumption. Contents lists available at Science Direct. National University of Singapore, Renewable and Sustainable Energy Reviews 74,902–924.

[28] Zhang.Y,Ren.S,Liu.Y,Si.S.(2016). A big data analytics architecture for cleaner manufacturing and maintenance processes of complex products. Journal of Cleaner Production, China, Contents lists available at Science Direct,1-16.

[29] Glawar.R, Kemeny.Z, Nemeth.T, Matyas.K, Monostori.L,Sihn.W.(2016). A holistic approach for quality oriented maintenance planning supported by data mining methods.Contents lists available at Science Direct. Procardia CIR P57,259-264

[30] Bastos.P, Lopes.I, Pires.L.(2012). A Maintenance Prediction System Using Datamining Techniques, Proceedings of the World Congress on Engineering. Vol III London, U.K.

[31] Abdlmanam S. A. Elmaryami, Magdi E. M. El-Garoshi, Mohammed M. A. and Abraheem A. M. (2022) Design A Run of Libyan's Man-Made River Hydroelectricity Model (LMR HEM). Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST), Vol. 9 Issue 1.

[32] Elmaryami A, Khalid HMB, Abdulssalam AM, Abdulssalam AA, Alssafi MM, Abdullateef AS, Mohamed ZA. Design of a Simple Model of S. P. P. to Study the Effect of Increasing the Boiler Pressure on the Efficiency of the Model. Engineering &Amp; Technology Review. 2021; 2(1): 1–7. https://doi.org/10.47285/etr.v2i1.60.

[33] ASA. Elmaryami, Sousi, A., El-Garoshi, M.E.M., Aljair, A., Almasry, A., Mahjob. F. & Othman, H. (2021). Design and Manufacture of a Water Pump to Study the Effect of the Impeller Blades Number on the Pump Performance, Engineering & Technology Review, 2(2), 1-9.doi: https://doi.org/10.47285/etr.v2i2.97

[34] Abdlmanam S. A. Elmaryami et.al. Design A Solar Water Pump Model To Study The Effect Of The Impeller Blades Number On The Pump Performance. Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST) ISSN: 2458-9403 Vol. 9 Issue 1, January - 2022.