التنبؤ بأعطال الآلات الميكانيكية اعتمادا على مؤشرات الاهتزاز المقيسة للآلة (دراسة حالة معمل اسمنت طرطوس)

د. م. وعد عمران*

الملخص

تُعدُّ الصيانة التنبؤية من أهم طرائق الصيانة التي تعتمد على مراقبة الحالة (مراقبة الاهتزازات)، اذ يمكن معرفة كثيراً عن حالة الآلة، ومشكلاتها الميكانيكية وذلك بمراقبة خصائص الاهتزاز فيها. يمكن عن طريق هذا النوع من الصيانة الكشف عن العيوب المخفية في الآلة في مراحل مبكرة التي تؤدي إلى حدوث أعطال فيها. وقد تتطور هذه الأعطال لاحقاً لتتحول إلى مشكلات كبيرة يصعب معالجتها مسببةً توقفاً في الآلة أو خط الإنتاج، وتكون النتيجة حدوث خسائر مادية كبيرة لم تكن بالحسبان.

تُعدُّ طريقة الصيانة المعتمدة على مراقبة الحالة، ومنها الصيانة المعتمدة على مراقبة الاهتزازات Vibration Based Maintenance (VBM) من أهم التقنيات المستخدمة في الصيانة الوقائية والتنبؤية. وتؤكد المصادر العلمية أن طريقة الصيانة VBM تسمح بتشخيص طيف واسع من الأعطال اذ انّ تحليل الاهتزازات Vibration analysis يشكل 75% من الحجم الكلي للتقنيات المستخدمة في الصيانة التنبؤية.

ومن هنا تأتي أهمية هذه الدراسة اذ انّها تسلط الضوء على التنبؤ بأعطال الآلات الميكانيكية اعتماداً على مؤشرات الاهتزاز المقيسة للآلة، وذلك من خلال دراسة حالة تطبيقية في معمل اسمنت طرطوس، اذ أجريت قياسات ميدانية للاهتزازات مأخوذة من الموقع لمطحنة المواد الأولية الثالثة في المعمل وحلّلت هذه القياسات.

الكلمات المفتاحية: الصيانة التنبؤية، مؤشرات الاهتزاز، تحليل الاهتزازات.

* أستاذ، قسم هندسة الميكانيك العام، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق.

Mechanical machines fault's predication based on measured vibration indicators for the machine. (Case Study: Tartous Cement Factory)

Dr. Waad Omran*

Abstract

Predictive maintenance is considered as one of the most important maintenance methods, which depends on case monitoring (Vibration wise), a lot to be known about the machine situation, its mechanical problems by monitoring this parameter.

Predictive maintenance can discover the hidden faults in the machine at very early stages, which eventually may lead to cause a break down. Eventually these faults may be developed to be a serious problems, could not be handled causing a breakdown of the machine or the production line. The results would be huge financial loss which it was not encountered.

The maintenance method based on case monitoring (Vibration Based Maintenance), is considered to be the most important techniques in predictive and preventive maintenance.

Scientific references are assuring that Vibration Based Maintenance allows diagnosing wide spectrum of faults, since vibration analysis forms 75% from the total volume of the techniques used in predictive maintenance.

The importance of this study comes from the fact, that it is highlighting mechanical equipment faults prediction based on machine's vibration measured indicators. This was done through an Empirical case in Tartous Cement Factory, where field vibration measurement was taken from site of the raw materials' third mill, then these measurements were analyzed.

Key words: Predictive Maintenance, Vibration Indicators, Vibration analysis.

* **Department of Mechanical Engineering, Faculty of mechanical and electrical Engineering, Damascus University**.

1- المقدمة

إن التطور الكبير الحاصل في مجال تصنيع الآلات والتركيبات الميكانيكية بقصد تحسين كل من الإنتاجية والجودة وتخفيف الكلفة، قد فرض زيادة في سرعة الآلات وانخفاضاً نسبياً لكتلتها. ذلك كلّه أدى إلى ظهور حمولات ديناميكية كبيرة عند حصول خطأ في التركيب، أو الصيانة، أو التشغيل مترافقة مع ظهور الاهتزازات والضجيج والحرارة، وتشقق القواعد وتلف المحامل، وبسبب ذلك فقد ظهرت الحاجة لأساليب الصيانة التنبؤية والوقائية، واستعمال أجهزة المراقبة والقياس والتحليل المتطورة.

تعدّ الصيانة التنبؤية من أهم طرائق الصيانة التي تعتمد على مراقبة الحالة (مراقبة الاهتزازات) اذ يمكن معرفة كثير عن حالة الآلة، ومشكلاتها الميكانيكية بمراقبة خصائصها الاهتزازية [2].

كما يمكن عن طريق هذا النوع من الصيانة الكشف عن العيوب المخفية في الآلة في مراحل مبكرة التي تؤدي إلى حدوث أعطال فيها. وقد تتطور هذه الأعطال لاحقاً لتتحول إلى مشكلات كبيرة يصعب معالجتها مسببة توقفاً في الآلة أو خط الإنتاج، وتكون النتيجة حدوث خسائر مادية كبيرة لم تكن بالحسبان.

تعدّ طريقة الصيانة المعتمدة على مراقبة الحالة ومنها الصيانة المعتمدة على مراقبة الاهتزازات Vibration Based Maintenance (VBM) من أهم التقنيات المستخدمة في الصيانة الوقائية والتنبؤية. وتؤكد المصادر العلمية أن طريقة الصيانة VBM تسمح بتشخيص طيف واسع من الأعطال. نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر: (عدم التوازن، وعدم المحاذاة، وعدم المركزية، وأعطال المحامل، والخلطة الميكانيكية (Mechanical vacuum)، وأعطال المسننات، وأعطال المحركات الكهربائية، وأعطال سيور نقل الحركة، وانحناء المحامل وحكه، والأعطال في الآلات الهيدروليكية) إذ إنّ تحليل الاهتزازات Vibration analysis يشكل 75% من الحجم الكلي للتقنيات المستخدمة في الصيانة التنبؤية [5].

استنادا إلى ذلك، تجري الصيانة فقط عندما تشير القياسات والتحاليل إلى ذلك، أي توقف الآلة بأسلوب مراقب حسب ضرورة العطل، وتجدول التوقفات حسب المشكلات التي رصدت في الآلة نتيجة المراقبة، ونكون قد تنبأنا بالعطل مسبقاً وقدرنا خطورته وإمكانية الاستمرار في العمل مادامت البارامترات المراقبة ضمن الحدود المسموح بها، وذلك من خلال القياس والتحليل الدوري للاهتزازات بشكل أساسي، وللحرارة والضجيج وتحليل الزيوت وغيرها. ووضع سجل لأداء الآلة.

2- أهمية البحث وأهدافه

تأتي أهمية هذا البحث من أنه يسلط الضوء على التنبؤ بأعطال الآلات الميكانيكية اعتماداً على مؤشرات الاهتزاز المقيسة للآلة، وإبراز أهمية استخدام الصيانة التنبؤية بالشكل الأمثل، وتقديم المقترحات الضرورية لوضع أفضل قواعد البيانات للمنشآت الصناعية المهمة (مثل معامل الاسمنت ومصافي النفط وغيرها) بهدف تسريع خطوات الصيانة والإصلاح وتطويرهما والوصول إلى نتائج مقبولة في مجالات التحليل ونقل المعطيات والتوثيق.

أمّا الهدف من البحث فهو الاعتماد على علم الصيانة التنبؤية من خلال الافادة من مؤشرات الاهتزاز للكشف عن أعطال الآلات، ويتضمن ذلك أخذ قياسات ميدانية للاهتزاز في موقع مطحنة المواد الأولية الثالثة في معمل اسمنت طرطوس، ومن ثم تحليل هذه القياسات ومناقشتها، واتخاذ قرار بحاجتها إلى الصيانة من عدمه.

3- مواد البحث وطرائقه

طبّقت مفاهيم الصيانة التنبؤية لتحقيق الهدف من الدراسة، حيث قيست قيمة الاهتزازات التي تنشأ في

عناصر الآلات في معمل اسمنت طرطوس، وذلك من أجل تقييم وضع الآلة في المقام الأول، ومن ثم تقرير خطة صيانتها لاحقاً، ولتحقيق ذلك تحتّم تحديد المفاهيم التالية أدناه وإتباع المنهجية التجريبية، ومن ثم تحليل النتائج ومناقشتها.

4-حدود الاهتزازات وثوابتها:

عند تفاقم عيب ما في آلة فإن مستوى الاهتزازات يأخذ بالازدياد إلى أن يصل العيب لمرحلة خطيرة يتزايد معه مستوى الاهتزاز بشكل ملحوظ، لذلك وضع ما يسمى بحدود الاهتزازات المقبولة في الآلات، وهي حدود الاهتزازات التي تدل على وجود عيب ما في الآلة ويوضّح هذا العيب في أي مرحلة، وهل وصل الى مرحلة خطيرة تحول فيها إلى عيب خطير يجب القيام بالصيانة الفورية لتفادي تطوره لعطل كامل للآلة أم لا، ولتحديد ذلك رقمياً قابلاً للقياس، وضعت المنظمة الدولية (ISO) عدد من المواصفات تحدد مستوى الاهتزازات المقبولة للآلات، وتضع مؤشراً واضحاً عن حالة الآلة تبعاً لمستوى الاهتزاز فيها[3].

5-المواصفة الدولية ISO- 18016

إن المواصفة الأكثر استخداماً كمؤشر لحالة الآلة هي المواصفة القياسية ISO 2372، أو المواصفة البريطانية (BS4675) التي طوّرت لاحقاً إلى المواصفة رقم ISO 18016 [1]. (الشكل 1). إن المخطط يستخدم بارامترين متغيرين لمعرفة حالة الآلة هما: حجم الآلة، وسرعة الاهتزاز.

إذا بداية وقبل استخدام هذه المواصفة نصنف الآلات حسب حجمها كما يأتي:

(الصنف1): الأجزاء الأساسية للمحرك والتجهيزات بشكل متكامل في شروط تشغيل طبيعية، علما أن المحرك الكهربائي الذي لا تتجاوز استطاعته 15 كيلو واط يعدّ مثالا على التجهيزات ضمن هذا الصنف.

(الصنف2): الآلات ذات الحجم المتوسط تمثل عادة بمحرك كهربائي تراوح استطاعته بين (75KW-15KW) من دون قواعد من نوع خاص، أو تلك التي وضعت على قواعد جاسئة (صلدة) ومتينة.

(الصنف3): الآلات الضخمة ذات الاستطاعة أكبر من 75 كيلو واط مع كتل دوارة وضعت على قواعد جاسئة وثقيلة التي تكون جاسئة نسبياً باتجاه حركة الاهتزاز.

(الصنف4): أجزاء التجهيزات الأساسية والآلات الكبيرة التي توضع عليها كتل دوارة، وتكون مثبتة على قواعد متينة نسبياً باتجاه قياس الاهتزازات، على سبيل المثال: أطقم مولدات التوربينات ولاسيّما تلك الموضوعة على بنية تحتية خفيفة، أو قواعد مرنة (كاوتشوك).

(الشكل 1) يبيّن المواصفة الدولية ISO 18016

6-المواقع المختارة لإجراء القياسات والدراسة عليها

يوجد عدد من المواقع في منشأة معمل أسمنت طرطوس التي من الممكن إجراء الدراسة عليها، نذكر منها: مراوح الغاز الساحب والنهائي، ومراوح السحب من فارزة المواد الأولية، ومراوح سحب فارزة الاسمنت، ومراوح فلاتر مطاحن الاسمنت، وضواغط الهواء، وبعض محركات المطاحن وغيرها. إلا أننا في هذا البحث درسنا موقعاً أساسياً، وهو مطحنة المواد الأولية التابعة لطحن المواد، ولمروحة الفارزة، ومحركها، ولمحرك الكسارة والمحور القائد للكسارة، ولإحدى المضخات الحلزونية ومحركها. وجرى التركيز على أخذ قياسات بنقاط متعددة من هذه المواقع لسببين أساسيين:

السبب الأول: هو أهمية هذه النقاط وتأثيرها العميق في خطوط الإنتاج في هذه المنشأة الذي يصل الى حد تعطيل الإنتاج في حال عطب احدى هذه النقاط.

1- **السبب الثاني:** هو أن هذه التجهيزات المختارة تمثل نموذجاً كلاسيكياً للتجهيزات الميكانيكية التي يمكن القيام بدراستها وتحليل الاهتزازات عليها، فهي تتكون من محرك كهربائي يستند الى محملين وجسم دائر (مروحة) مربوطة بالمحرك بواسطة قارنة مستندة بدورها الى مضجعين، ومن ثمّ فهي تقدم نموذجاً سهلاً للدراسة والمتابعة فضلاً عن أنها تعرض طيفاً واسعاً من المشكلات والعيوب التي من الممكن التنبؤ بها بواسطة تحليل الاهتزازات.

7- القياسات الميدانية، تحليلها ومناقشة النتائج

قيست قيمة الاهتزاز (شدته) عند مضاجع الأجزاء الرئيسية لمطحنة المواد الأولية الثالثة في معمل اسمنت طرطوس في التواريخ الآتية:

(9\12\2014, 26\12\2014, 1\1\2015, 8\1\2015, 4\3\2015, 19\2\2015, 12\2\2015, 5\2\2015)، وذلك بواسطة جهاز قياس الاهتزازات اليدوي المبين في (الشكل 2)، نوعه Advisor من شركة SKF [4]:

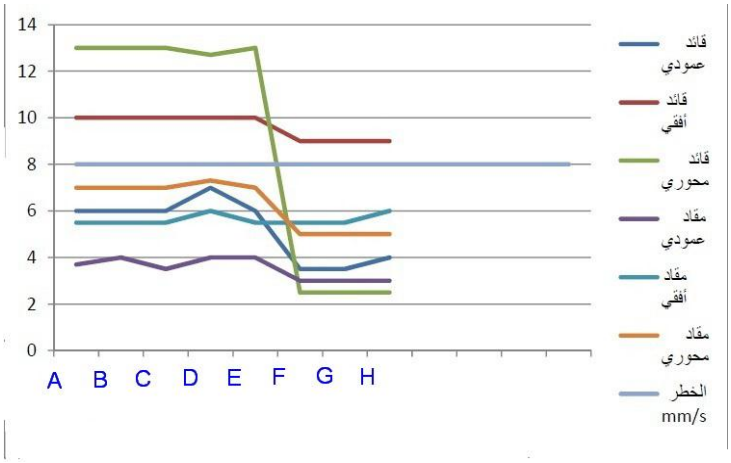
الشكل (2) ويبيّن جهاز قياس الاهتزازات اليدوي

ونظّمت القياسات المأخوذة كلّها في جداول ومنحنيات توضيحية، إذ انّ تجاوز الخطر عند السرعة 8mm/s يعدّ مؤشراً أساسياً للتنبؤ بالأعطال. حلّلت هذه القياسات كما يأتي:

أولا) قياسات مضجع بنيون مطحنة المواد الأولية (الجدول 1):

((البنيون هو: المسنن الصغير القائد لمطحنة المواد الأولية)).

اسم الآلة ورقمها		الطرف القائد				الطرف المقاد					
مضجع بنيون مطحنة المواد الأولية	التاريخ	قائد عمودي	قائد أفقي	قائد محوري	قائد الحرارة	مقاد عمودي	مقاد أفقي	مقاد محوري	مقاد الحرارة	الخطر mm/s	ملاحظات
A	9-12-2014	6	10	13		3.7	5.5	7		8	
B	26-12-2014	6	10	13		4	5.5	7		8	
C	1-1-2015	6	10	13		3.5	5.5	7		8	
D	8-1-2015	7	10	12.7		4	6	7.3		8	
E	5-2-2015	6	10	13		4	5.5	7		8	
F	12-2-2015	3.5	9	2.5		3	5.5	5		8	
G	19-2-2015	3.5	9	2.5		3	5.5	5		8	
H	4-3-2015	4	9	2.5		3	6	5		8	
										8	
										8	
										8	
										8	



تمثيل نتائج الجدول(1) بيانياً وتبيّن القياس في مضجع بنيون مطحنة المواد الأولية

تحليل هذه القياسات:

1-) عند الطرف القائد:

إن شدة الاهتزاز (المتمثلة بسرعة الاهتزاز) التي قيست بالاتجاه الأفقي والمحوري عالية جداً إذا ما قورنت بشدة الاهتزاز المسموح بها، وذلك حسب المواصفة القياسية (iso-18016).

إذ إنّه في تاريخ 9\12\2014 وحتى تاريخ 5\2\2015 كانت شدة الاهتزاز بالاتجاه المحوري 13 mm/s، وبالاتجاه الأفقي 10 mm/s، وهذا يدلّ على ضرورة إجراء الصيانة من قبل الفريق المختص.

فعند إجراء الصيانة اللازمة (صيانة وقائية) نلاحظ أنه في تاريخ 12\2\2015 وحتى تاريخ 4\3\2015 أصبحت شدة الاهتزاز بالاتجاه المحوري ضمن الحدود الجيدة 2.5mm/s، أمّا بالاتجاه الأفقي فأصبحت 9mm/s، أي انّها لا تزال ضمن حدود الخطر ومن ثمّ يجب إجراء الصيانة بشكل أفضل لتنخفض شدة الاهتزاز بالاتجاه الأفقي، وتصبح ضمن الحدود المقبولة والجيدة.

أمّا بالنسبة الى شدة الاهتزاز (سرعة الاهتزاز) بالاتجاه العمودي فهي ضمن الحدود الجيدة، اذ تراوح من 3.5 mm/s وحتى 7 mm/s.

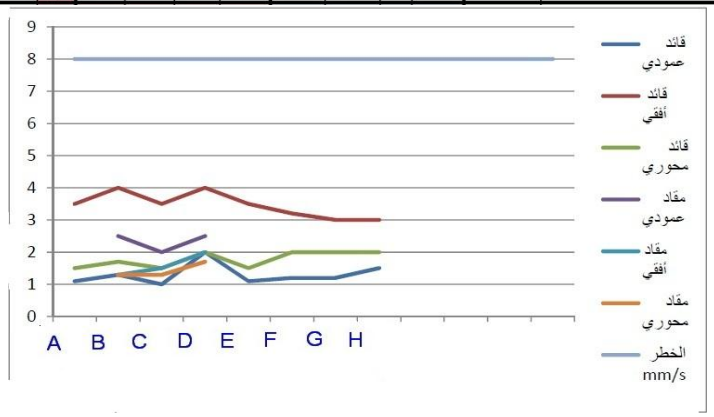
2-)عند الطرف المقاد:

إن شدة الاهتزاز (المتمثلة بسرعة الاهتزاز) بالاتجاه الأفقي والعمودي والمحوري في التواريخ كلّهاالمذكورة سابقا ضمن الحدود الجيدة (اذ تراوح من 3mm/s إلى 7.3mm/s) وذلك بالمقارنة بالمواصفة القياسية (iso-18016).

ومن ثمّ نستنتج أن مضجع الطرف القائد لبنيون مطحنة المواد الأولية يلزمه مراقبة اهتزاز بشكل مستمر اذ انّ شدة الاهتزازات عنده أعلى من الطرف المقاد.

ثانيا) قياسات محور بنيون مطحنة المواد (الجدول 2):

مضجع محور بنيون المطحنة	التاريخ	قائد عمودي	قائد أفقي	قائد محوري	قائد الحرارة	مقاد عمودي	مقاد أفقي	مقاد محوري	مقاد الحرارة	الخطر /mm s	ملاحظات
A	9-12-2014	1.1	3.5	1.5						8	
B	26-12-2014	1.3	4	1.7		2.5	1.3	1.3		8	
C	1-1-2015	1	3.5	1.5		2	1.5	1.3		8	
D	8-1-2015	2	4	2		2.5	2	1.7		8	
E	5-2-2015	1.1	3.5	1.5						8	
F	12-2-2015	1.2	3.2	2						8	
G	19-2-2015	1.2	3	2						8	
H	4-3-2015	1.5	3	2						8	
										8	
										8	
										8	
										8	



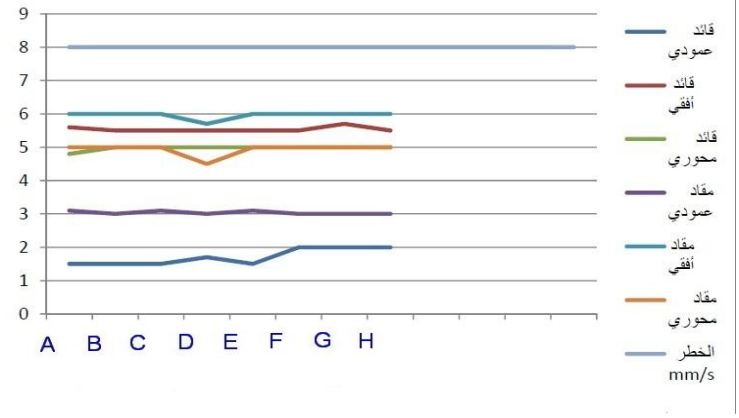
تمثيل نتائج الجدول(2) بيانياً، وتبيّن نتائج القياس في مضجع بنيون مطحنة المواد الأولية

تحليل هذه القياسات:

نلاحظ أن شدة الاهتزاز عند مضجع الطرف القائد والمقاد، وبالاتجاه المحوري والعمودي والأفقي ضمن الحدود الطبيعية (الجيدة)، أي تحت خط الخطر 8 mm/s ومن ثمَّ لا حاجة لإجراء صيانة وقائية.

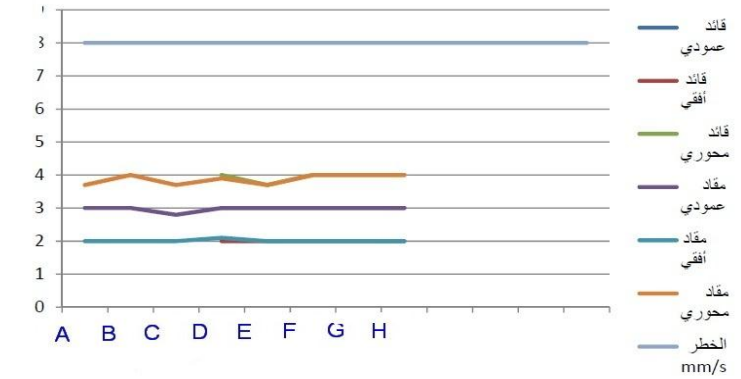
ثالثا) قياسات مروحة مطحنة المواد 75 ومحركها(الجداول 3،4):

مروحة مطحنة المواد 75	التاريخ	قائد عمودي	قائد أفقي	قائد محوري	قائد الحرارة	مقاد عمودي	مقاد أفقي	مقاد محوري	مقاد الحرارة	الخطر /mm s	ملاحظات
A	9-12-2014	1.5	5.6	4.8		3.1	6	5		8	
B	26-12-2014	1.5	5.5	5		3	6	5		8	
C	1-1-2015	1.5	5.5	5		3.1	6	5		8	
D	8-1-2015	1.7	5.5	5		3	5.7	4.5		8	
E	5-2-2015	1.5	5.5	5		3.1	6	5		8	
F	12-2-2015	2	5.5	5		3	6	5		8	
G	19-2-2015	2	5.7	5		3	6	5		8	
H	4-3-2015	2	5.5	5		3	6	5		8	
										8	
										8	
										8	
										8	



تمثيل نتائج الجدول (3) بيانياً وتبين نتائج القياس في مروحة مطحنة المواد الأولية 75

محرك مروحة مطحنة المواد 75	التاريخ	قائد عمودي	قائد أفقي	قائد محوري	قائد الحرارة	مقاد عمودي	مقاد أفقي	مقاد محوري	مقاد الحرارة	الخطر /mm s	ملاحظات
A	9-12-2014					3	2	3.7		8	
B	26-12-2014					3	2	4		8	
C	1-1-2015					2.8	2	3.7		8	
D	8-1-2015	3	2	4		3	2.1	3.9		8	
E	5-2-2015	3	2	3.7		3	2	3.7		8	
F	12-2-2015	3	2	4		3	2	4		8	
G	19-2-2015	3	2	4		3	2	4		8	
H	4-3-2015	3	2	4		3	2	4		8	
										8	
										8	
										8	
										8	



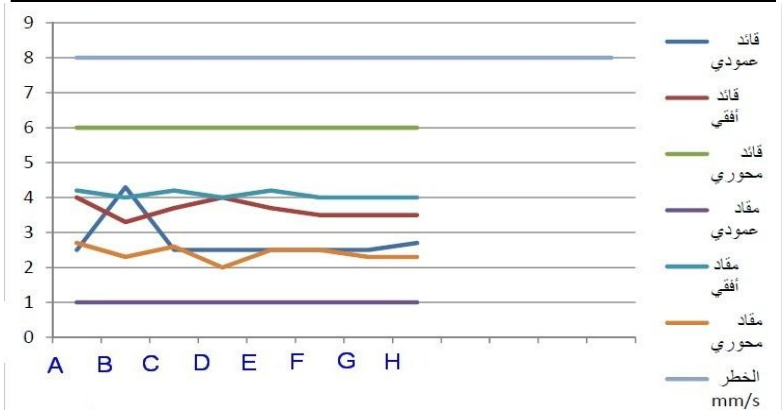
تمثيل نتائج الجدول(4) بيانياً وتبين نتائج القياس في محرك مطحنة المواد الأولية 75

تحليل هذه القياسات:

نلاحظ أن شدة الاهتزاز بالاتجاه المحوري والعمودي والأفقي عند مضجع الطرف القائد والمقاد لكل من مروحة مطحنة المواد 75 ومحركها ضمن الحدود الطبيعية (الجيدة)، أي انّها تحت خط الخطر 8 mm/s ومن ثمّ فإن وضع كل من مروحة مطحنة المواد 75 ومحركها جيد، ولا توجد حاجة لإجراء صيانة وقائية لهما.

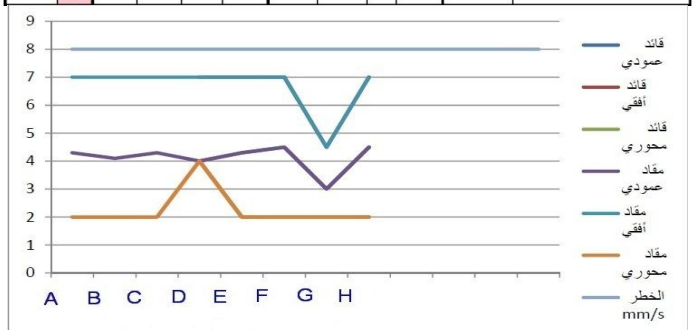
رابعاً) قياسات مروحة الفارزة71 ومحركها(الجداول 5،6):

مروحة الفارزة 71	التاريخ	قائد عمودي	قائد أفقي	قائد محوري	قائد الحرارة	مقاد عمودي	مقاد أفقي	مقاد محوري	مقاد الحرارة	الخطر /mm s	ملاحظات
A	9-12-2014	2.5	4	6		1	4.2	2.7		8	
B	26-12-2014	4.3	3.3	6		1	4	2.3		8	
C	1-1-2015	2.5	3.7	6		1	4.2	2.6		8	
D	8-1-2015	2.5	4	6		1	4	2		8	
E	5-2-2015	2.5	3.7	6		1	4.2	2.5		8	
F	12-2-2015	2.5	3.5	6		1	4	2.5		8	
G	19-2-2015	2.5	3.5	6		1	4	2.3		8	
H	4-3-2015	2.7	3.5	6		1	4	2.3		8	
										8	
										8	
										8	
										8	



تمثيل نتائج الجدول (5) بيانياً، وتبيّن نتائج القياس في مروحة الفارزة 71

محرك مروحة الفارزة 71	التاريخ	قائد عمودي	قائد أفقي	قائد محوري	قائد الحرارة	مقاد عمودي	مقاد أفقي	مقاد محوري	مقاد الحرارة	الخطر mm/s	ملاحظات
A	9-12-2014					4.3	7	2		8	
B	26-12-2014					4.1	7	2		8	
C	1-1-2015					4.3	7	2		8	
D	8-1-2015	4	7	4		4	7	4		8	
E	5-2-2015	4.3	7	2		4.3	7	2		8	
F	12-2-2015	4.5	7	2		4.5	7	2		8	
G	19-2-2015	3	4.5	2		3	4.5	2		8	
H	4-3-2015	4.5	7	2		4.5	7	2		8	
										8	
										8	
										8	
										8	



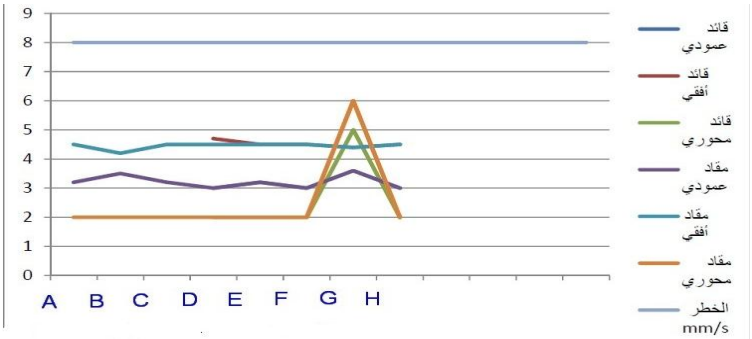
تمثيل نتائج الجدول (6) بيانياً، وتبيّن نتائج القياس في محرك الفارزة 71

تحليل هذه القياسات:

نلاحظ أن شدة الاهتزاز (المتمثلة بسرعة الاهتزاز) بالاتجاه العمودي والمحوري والأفقي عند مضجع الطرف القائد والمقاد لمروحة الفارزة 71 ضمن الحدود الطبيعية إذ انّها أقل من 8 mm/s ومن ثمّ لا حاجة لإجراء صيانة وقائية للمروحة أمّا بالنسبة الى محركها فكما نلاحظ أن شدة الاهتزاز بالاتجاه العمودي والمحوري عند مضجع الطرف القائد والمقاد ضمن الحدود الطبيعية أمّا بالاتجاه الأفقي فتكون 7 mm/s، أي انّها قريبة جداً من خط الخطر 8 mm/s ومن ثمّ من الضروري إجراء صيانة وقائية لمحرك المروحة حتى تبتعد قيمة شدة الاهتزاز بالاتجاه الأفقي عن خط الخطر، ويصبح وضع محرك المروحة جيداً، ويجب أيضاً مراقبة الاهتزازات دورياً عند مضجع الطرف القائد والمقاد لمحرك المروحة، وبشكل خاص بالاتجاه الأفقي.

خامساً) قياسات محرك الكسارة(الجدول 7):

محرك الكسارة	التاريخ	قائد عمودي	قائد أفقي	قائد محوري	قائد الحرارة	مقاد عمودي	مقاد أفقي	مقاد محوري	مقاد الحرارة	الخطر mm/s	ملاحظات
A	9-12-2014					3.2	4.5	2		8	
B	26-12-2014					3.5	4.2	2		8	
C	1-1-2015					3.2	4.5	2		8	
D	8-1-2015	3	4.7	2		3	4.5	2		8	
E	5-2-2015	3.2	4.5	2		3.2	4.5	2		8	
F	12-2-2015	3	4.5	2		3	4.5	2		8	
G	19-2-2015	3.6	4.4	5		3.6	4.4	6		8	
H	4-3-2015	3	4.5	2		3	4.5	2		8	
										8	
										8	
										8	
										8	



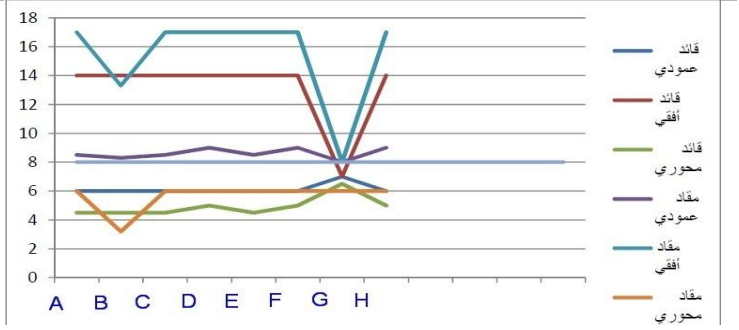
تمثيل نتائج الجدول (7) بيانياً، وتبيّن نتائج القياس في محرك الكسارة

تحليل هذه القياسات:

نلاحظ أن شدة الاهتزاز بالاتجاه المحوري والعمودي والأفقي عند مضجع الطرف القائد والمقاد لمحرك الكسارة ضمن الحدود الطبيعية (الجيدة) إذ تراوح من 2 mm/s وحتى 4.5mm/s، أي انّها أقل من 8 mm/s، وهذا يعني أن وضع محرك الكسارة جيداً ومن ثمّ لا حاجة لإجراء صيانة وقائية له.

سادسا) قياسات المحور القائد للكسارة (الجدول 8):

المحور القائد للكسارة	التاريخ	قائد عمودي	قائد أفقي	قائد محوري	قائد الحرارة	مقاد عمودي	مقاد أفقي	مقاد محوري	مقاد الحرارة	الخطر /mm s	ملاحظات
A	9-12-2014	6	14	4.5		8.5	17	6		8	
B	26-12-2014	6	14	4.5		8.3	13.3	3.2		8	
C	1-1-2015	6	14	4.5		8.5	17	6		8	
D	8-1-2015	6	14	5		9	17	6		8	
E	5-2-2015	6	14	4.5		8.5	17	6		8	
F	12-2-2015	6	14	5		9	17	6		8	
G	19-2-2015	7	7	6.5		8	8	6		8	
H	4-3-2015	6	14	5		9	17	6		8	
										8	
										8	
										8	
										8	



تمثيل نتائج الجدول (8) بيانياً، وتبيّن نتائج القياس في المحور القائد للكسارة

تحليل هذه القياسات:

1-) عند مضجع الطرف القائد:

نلاحظ أن شدة الاهتزاز (المتمثلة بسرعة الاهتزاز) بالاتجاه الأفقي عالية إذا ما قورنت بشدة الاهتزاز المسموح بها (الطبيعية) حسب المواصفة القياسية (iso-18016) إذ انّها في تاريخ 9\12\2014 وحتى تاريخ 12\2\2015 كانت شدة الاهتزاز بالاتجاه الأفقي 14 mm/s أي انّها عالية جداً وضمن الحدود الخطرة (غير الطبيعية) فيجب إجراء صيانة وقائية لمعالجة هذا الأمر قبل أن يتفاقم.

عند إجراء الصيانة الوقائية نلاحظ أنه في تاريخ 19\2\2015 أصبحت شدة الاهتزاز بالاتجاه الأفقي 7 mm/s، أي انّها طبيعية وضمن المجال المسموح به، ولكن نلاحظ أنه في تاريخ 4\3\2015 عادت شدة الاهتزاز بالاتجاه الأفقي لترتفع وتصبح 14 mm/s.

أمّا شدة الاهتزاز بالاتجاه العمودي والمحوري فهي ضمن الحدود الطبيعية (الجيدة).

2-) عند مضجع الطرف المقاد:

نلاحظ أن شدة الاهتزاز (المتمثلة بسرعة الاهتزاز) بالاتجاه الأفقي والعمودي عالية جداً اذ انّها في تاريخ 9\12\2014 وحتى تاريخ 12\2\2015 كانت تراوح بين (9-17) mm/s ومن ثمّ يجب إجراء صيانة وقائية حتى تنخفض شدة الاهتزاز إلى الحدود الطبيعية (الجيدة).

فعند إجراء الصيانة الوقائية اللازمة نلاحظ أنه في تاريخ 19\2\2015 أصبحت شدة الاهتزاز بالاتجاه العمودي والأفقي 8 mm/s، أي انّها عند خط الخطر ومن ثمّ يجب إجراء الصيانة بشكل أفضل وأكثر فاعلية حتى تنخفض شدة الاهتزاز بالاتجاه العمودي والأفقي، وتصبح ضمن الحدود الطبيعية.

ولكن نلاحظ أنه في تاريخ 4\3\2015 عادت شدة الاهتزاز لترتفع وتصبح 17 mm/s في الاتجاه الأفقي، و 9 mm/s في الاتجاه العمودي.

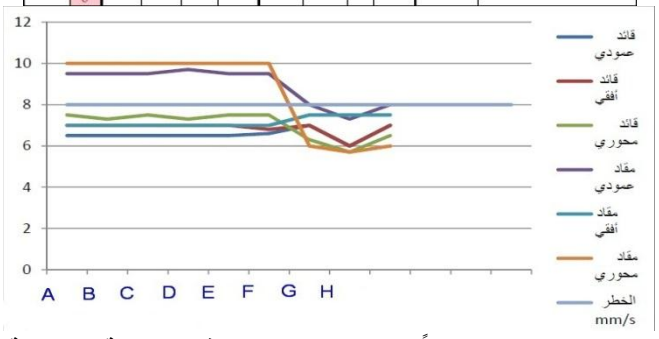
أمّا شدة الاهتزاز بالاتجاه المحوري فهي ضمن الحدود الطبيعية (الجيدة)، أي انّها تحت خط الخطر 8 mm/s.

ومن ثمّ نستنتج أنه يجب مراقبة الاهتزازات عند مضجع الطرف القائد والمقاد لمحور الكسارة بشكل دائم (إذ نلاحظ أن شدة الاهتزاز تتغير فجأة، وخلال مدة قصيرة نسبياً –من4 وحتى5 أيام– وتصبح عالية جداً)، وذلك حتى لا تقترب شدة الاهتزاز من الحدود غير الطبيعية (الخطرة).

تستمر مدة طويلة ضمن هذه الحدود فيؤدي ذلك إلى حدوث أعطال كارثية.

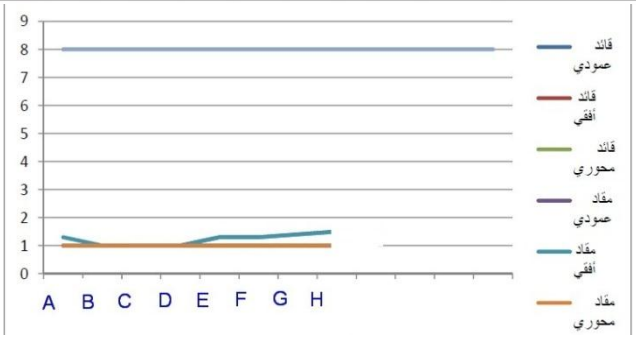
سابعاً) قياسات المضخة الحلزونية87 ومحركها(الجداول 9،10):

مضخة حلزونية 87	التاريخ	قائد عمودي	قائد أفقي	قائد محوري	قائد الحرارة	مقاد عمودي	مقاد أفقي	مقاد محوري	مقاد الحرارة	الخطر /mm s	ملاحظات
A	9-12-2014	6.5	7	7.5		9.5	7	10		8	
B	26-12-2014	6.5	7	7.3		9.5	7	10		8	
C	1-1-2015	6.5	7	7.5		9.5	7	10		8	
D	8-1-2015	6.5	7	7.3		9.7	7	10		8	
E	5-2-2015	6.5	7	7.5		9.5	7	10		8	
F	12-2-2015	6.6	6.8	7.5		9.5	7	10		8	
G	19-2-2015	7	7	6.3		8	7.5	6		8	
H	4-3-2015	6	6	5.7		7.3	7.5	5.7		8	
										8	
										8	
										8	
										8	



تمثيل نتائج الجدول(9) بيانياً، وتبيّن نتائج القياس في المضخة الحلزونية 87

محرك المضخة حلزونية 87	التاريخ	قائد عمودي	قائد أفقي	قائد محوري	قائد الحرارة	مقاد عمودي	مقاد أفقي	مقاد محوري	مقاد الحرارة	الخطر /mm s	ملاحظات
A	9-12-2014					1	1.3	1		8	
B	26-12-2014					1	1	1		8	
C	1-1-2015					1	1	1		8	
D	8-1-2015	1	1	1		1	1	1		8	
E	5-2-2015	1	1.3	1		1	1.3	1		8	
F	12-2-2015	1	1.3	1		1	1.3	1		8	
G	19-2-2015	1	1.4	1		1	1.4	1		8	
H	4-3-2015	1	1.5	1		1	1.5	1		8	
										8	
										8	
										8	
										8	



تمثيل نتائج الجدول (10) بيانياً، وتبيّن نتائج القياس في محرك المضخة الحلزونية 87

تحليل هذه القياسات:

بالنسبة الى محرك المضخة الحلزونية87: نلاحظ أن شدة الاهتزاز (المتمثلة بسرعة الاهتزاز) بالاتجاه الأفقي والعمودي والمحوري عند مضجع الطرف القائد والمقاد ضمن الحدود الطبيعية (الجيدة) ومن ثمّ لا توجد ضرورة لإجراء صيانة وقائية للمحرك.

أما بالنسبة الى المضخة الحلزونية87:

1) عند مضجع الطرف القائد:

إن شدة الاهتزاز بالاتجاه الأفقي والعمودي والمحوري ضمن الحدود الطبيعية اذ تراوح بين 5.7mm/s و 7.5mm/s أي أنها قريبة جدا من خط الخطر 8 mm/s ومن ثمّ يجب مراقبة شدة الاهتزاز عند مضجع الطرف القائد باستمرار حتى نقوم بإجراء الصيانة الوقائية بشكل فوري عند حدوث ارتفاع مفاجئ لشدة الاهتزاز.

2) عند مضجع الطرف المقاد:

نلاحظ أن شدة الاهتزاز بالاتجاه العمودي والمحوري عالية جدا بالمقارنة بالمواصفة القياسية (iso-18016) اذ انّها بتاريخ 9\12\2014 وحتى تاريخ 12\2\2015 كانت تراوح قيمتها بين 9 mm/s و 10 mm/s، ومن ثمّ توجد حاجة لإجراء صيانة وقائية حتى تنخفض شدة الاهتزاز.

عند إجراء الصيانة الوقائية من قبل الفريق المختص نلاحظ أنه بتاريخ 19\2\2015 أصبحت شدة الاهتزاز بالاتجاه العمودي والمحوري ضمن الحدود الطبيعية (الجيدة)، والمقبولة (قريبة من خط الخطر 8 mm/s (تراوح بين 6 mm/s و 8 mm/s) ومن ثمّ يجب باستمرار مراقبة الاهتزازات عند مضجع الطرف المقاد، وذلك لإجراء الصيانة الوقائية فورياً عندما ترتفع شدة الاهتزاز فجأة.

نستنتج من هذه القياسات كلّها (مؤشرات الاهتزاز) التي أخذت لمراقبة حالة الأجزاء الرئيسية لمطحنة المواد الأولية الثالثة في معمل أسمنت طرطوس أن الاهتزازات العالية تكمن بوضوح في مضجع بنيون مطحنة المواد والمحور القائد للكسارة والمضخة الحلزونية 87، ومن ثمّ يجب مراقبة الاهتزازات (قياس شدتها) باستمرار لهذه الأجزاء، وذلك لتجنب حدوث أعطال مفاجئة تؤدي إلى توقف احدى أهم الآلات في معامل الاسمنت بشكل عام، الذي هو مطحنة المواد الأولية فيؤدي ذلك إلى توقف الإنتاج، ومن ثمّ حدوث خسارة كبيرة في المعمل من ناحية التكاليف العالية لإصلاح الأعطال الكبيرة، وخسارة أيضاً من ناحية الوقت المهدور حتى يتم تأمين القطع البديلة وإصلاح الأعطال.

8- الاستنتاجات والتوصيات

1. إن استخدام جهاز قياس الاهتزازات استعمالاً فعالاً في عمليات الصيانة ومراقبة حالة الآلات يؤدي إلى توفير كبير في تكاليف الإنتاج عن طريق تخفيض زمن توقف خطوط الإنتاج، وزمن إصلاح هذه الخطوط.
2. إن استخدام التقنيات الحديثة في الصيانة كتقنية قياس شدة الاهتزازات ومراقبتها (أو تحليل الاهتزازات) يساعد على تطبيق استراتيجيات الصيانة الفعّالة، ويوفر على المؤسسة خسائر مادية هائلة ناتجة عن توقف الإنتاج، كما في حالة مروحة المطحنة للخط الثاني.
3. إن استخدام تقنية قياس الاهتزازات ومراقبتها يؤدي إلى تخفيض تكاليف الصيانة، ومن ثمّ لا ضرورة للتقيد بالعمر الافتراضي لقطع الغيار، كالمحامل على سبيل المثال.
4. إن استخدام تقنية قياس الاهتزازات ومراقبتها يؤدي الى اطالة عمر المعدات ووسائل الإنتاج في مصنع الإسمنت، وذلك عن طريق كشف العيوب في مراحلها الأولى، والقضاء عليها قبل استفحالها وتحولها لأعطال كبيرة.

5. ضرورة تفعيل استثمار جهاز لقياس الاهتزازات (أو جهاز لتحليل الاهتزازات) ضمن خطط الصيانة الوقائية للمنشآت الصناعية، ومن ثمّ تطبيق خطة صيانة وقائية مبنية على مراقبة الاهتزاز.
6. تأسيس فريق عمل متخصص ضمن طاقم الصيانة الوقائية في المنشآت الصناعية، مهمته مراقبة قيم الاهتزازات على الآلات وقياس شدتها (أو تحليل طيف الاهتزاز) على هذه الآلات، ورفع تقارير عن حالة الآلات لإدارة الصيانة في المنشأة لاتخاذ الإجراءات المناسبة.
7. ربط القراءات والتحليلات التي تؤخذ بأحد برامج إدارة الصيانة الحاسوبية.
8. بحثت هذه الدراسة في أهمية استخدام تقنية مراقبة الاهتزازات وقياس شدتها (أي الاعتماد على مؤشرات الاهتزاز) في خطط الصيانة المتعلقة بخطوط إنتاج الإسمنت بشكل خاص، والصناعة بشكل عام، ويمكن أيضاً لدراسات مستقبلية أن تبحث في أهمية هذه التقنية وانعكاس استخدامها في صيانة خطوط إنتاج صناعة الحديد والصلب الناشئة في القطر فضلاً عن استخدام تقنيات أخرى كتحليل الزيت، والتصوير الحراري في الصناعات الثقيلة بشكل عام.

REFERENCES

1- ISO 10816-3, 1995-12-15, Mechanical vibration-Evaluation of machine vibration.

2- John T. Price - Vibration Analysis Methods for Preventative Maintenance- Mechanical Maintenance Coordinator Holnam Inc., Devil's Slide Plant-2001.

3- Paresh Girdhar BEng (Mech. Eng), Girdhar and Associates "Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance", Oxford, United Kingdom, 2004.

4- SKF - Bearing Maintenance Handbook.

5- An Introduction to predictive maintenance - R. Keith Mobley - 2002, Elsevier Science (USA).

المواقع الالكترونية:

www.vibrationschool.com

www.skf.com

www.iso.org

Received	2016/03/02	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2016/04/18	قبول البحث للنشر