اهتزازات الآلات الناتجة عن سوء تنفيذ قواعدها البيتونية

د. وعد عمران*

الملخص

تعدُّ الأساسات أو القواعد التي تثبت عليها الآلات جزءاً مهماً من أجل التشغيل والاستثمار الأمثل وزيادة الإنتاجية والتخلص من المشكلات الديناميكية كلّها.

تأخذ الطرائق الميكانيكية في حساب أساسات(قواعد) الآلات وتصميمها، وكذلك المسائل المتعلقة بتثبيت الآلة الصلدة أهمية كبيرة بالنسبة إلى صانع الآلة ومخطط المشروع ومستثمر الآلة،حيث تؤثر قوى تحريض دورية.

يعالج البحث مسألة حساب الترددات الذاتية للنظام من المعادلات التفاضلية بهدف تحديد منطقة العمل التي يجب أن تكون بعيدة عن مناطق الطنين المحتملة.

يتضمن البحث دراسة حالة عملية لاهتزازات آلات نسيج، ناتجة عن اهتزازات القاعدة البيتونية التي تتوضع عليها الآلات؛ وذلك بسبب الخلل في تنفيذ طبقات هذه القاعدة.

الكلمات المفتاحية: الاهتزازات، قواعد الآلات، تثبيت الآلات.

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

1-المقدمة

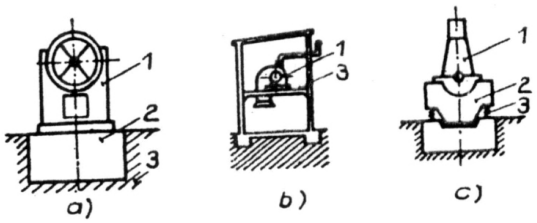
تعدُّ الأساسات أو القواعد التي تثبت عليها الآلات جزءاً مهماً من أجل التشغيل والاستثمار الأمثل وزيادة الإنتاجية والتخلص من المشكلات الديناميكية كلّها.

تأخذ المسائل المتعلقة بتثبيت الآلة الصلدة أهمية كبيرة بالنسبة إلى صانع الآلة ومخطط المشروع ومستثمر الآلة [1].

تشكل أماكن تثبيت الآلات، سواء كانت أرض (أساس) البناء أو أرضية الطابق أو هيكلاً حاملاً[2]، نظاماً مرناً. وينشأ عند تثبيت الآلات نظام اهتزازات له خواص ديناميكية لابدَّ من معرفتها،لذلك يجب أن تضمن الدراسة التصميمية لتثبيت الآلات عدم نشوء اهتزازات غير مرغوب فيها، سواء في مكان التثبيت أو في الآلة، فضلاً عن تحقيق متطلبات المتانة.

يبيّن الشكل(1) أمثلة مختلفة على تثبيت الآلات.

من المعروف أنه عند تنفيذ القواعد البيتونية (Concrete foundations) للآلات بشكل مخالف للمعايير والمواصفات النظامية وعدم الالتزام بمتطلبات الشركات الصانعة للآلات بذلك فإنه ستنشأ اهتزازات ضارة في بعض الآلات يمكن أن تنتقل إلى الآلات الأخرى؛ مما يؤدي إلى اهتزازها وإلى توقفها عن العمل؛ مما ينعكس سلباً على الخطط الإنتاجية. وسيبيّن ذلك عملياً من خلال دراسة مشكلة اهتزاز الأنوال في إحدى شركات الغزل والنسيج في سورية.



الشكل(1) أمثلة على تثبيت الآلات (1-الآلة،2 -الأساس، 3-النابض)

a) التثبيت المباشر على أرض البناء، b) التثبيت على أرضية طابقية، c) التثبيت على عناصر طابقية

2-الضرر الناتج عن الاهتزازات

ينتج عن نظام الاهتزازات قوى وإزاحات ديناميكية تؤثر تأثيراً سلبياً في الآلة. يتلخص تأثير الاهتزازات في حال تجاوزت القوى والإزاحات الحدود المسموح بها بما يأتي:

1- تضرر الأجزاء المختلفة في الآلة، وانخفاض دقة الآلة ونوعية المنتج، وانخفاض مردود الآلة الذي يمكن أن يصل إلى 10% من المردود الذي تعطيه في حالة التثبيت الصحيح والمدروس.

2- التأثيرات الضارة في محيط الآلة حيث تنتشر في البناء وفي الأساسات اهتزازات مستمرة (vibrations Continues) في نطاق واسع لتسبب أضراراً في هيكل البناء والتجهيزات المتممة قد تصل إلى حدود كبيرة (ينفصل في الأرضيات الطابقية الإسمنت عن الفولاذ ويفقد التصاقه الطبيعي)، تشويش عمل الآلات الأخرى المجاورة (خصوصاً الأجهزة الحساسة والآلات الإنتاجية الدقيقة) الذي يمكن أن يصل إلى حد إيقاف عملها الطبيعي.

3-التأثيرات الميكانيكية المباشرة في العاملين في المنشأة وانتشار الضجيج.

3-الأسس الديناميكية لتأسيس الآلات عند التحريض الدوري

إن لكل مكان للتثبيت تأثيراً مرناً، فإذا انطلقنا من آلة صلدة مثبتة بشكل مرن ينتج لدينا نموذج حسابي ذو ست درجات حرية. مع ذلك يكفي من أجل إيضاح مسائل عزل الاهتزازات الإيجابي والسلبي تحت تحريض دوري (تحريض القوة أو تحريض الحركة) نموذج حسابي ذو درجة حرية واحدة.

يتم من أجل الحكم على حمل أرض البناء أو على حمل أرضية الطابق عند التثبيت المباشر البحث عن مقادير

الحركة، ويكون بذلك مقدار الانتقال (الطريق) الاهتزازي مقياساً لحمل البناء، ويكون تسارع الاهتزاز مقياساً لحمل أساس (أرضية) البناء. وعند وضع طبقة فاصلة مرنة (مخمدات مطاطية أو نابضية) بين الآلة ومكان التثبيت بحيث تكون صلابتها صغيرة بالنسبة إلى صلابة مكان التثبيت تهمنا القوة المؤثرة على الأرض التي تستخدم من أجل الحكم على العمل. يمكن تحقيق الطبقات الفاصلة المرنة بواسطة نوابض إفرادية (نوابض فولاذية، نوابض مطاطية) أو بواسطة طبقة عازلة[3].

4-اهتزازات قواعد الآلات- نظام الكتلة الواحدة ذات ست درجات حرية

يمكن عدّ الآلة مع القاعدة (إن وجدت) كجسم صلد مع استناد مرن.تصبح فرضية الجسم الصلد مقبولة في حالة القواعد المصممة على شكل كتلة ممتلئة أو مفرغة جزئياً(Block Foundation). تؤدي القواعد المصممة على شكل إطار حامل بالارتباط مع الآلات ذات عدد الدورات المرتفع إلى نشوء نظام اهتزازات مستمر داخل التصميم الحامل[4].

4-1 النموذج الحسابي للآلة الصلدة

يمتلك نظام الكتلة الواحدة مع الاستناد المرن ست درجات طلاقة[2]، ومن ثمَّ يجب تحديد ستة ترددات ذاتية. يبيّن الشكل(2) النموذج الحسابي للآلة لصلدة (كتلة الآلة وكتلة القاعدة) المثبتة بشكل مرن، وذلك من أجل صياغة المعادلات التفاضلية للحركة في الإحداثيات الفراغية X,Y,Z. سيُهمَلُ التخامد لتأثيره الضئيل في الترددات الذاتية، حيث سيتم بحسب الفرض العمل بعيداً عن مجال الطنين[4]، وسيهمل تأثير قوة الثقالة في الحركة الاهتزازية.

بالنسبة إلى الشكل(2) نوضح ما يأتي:

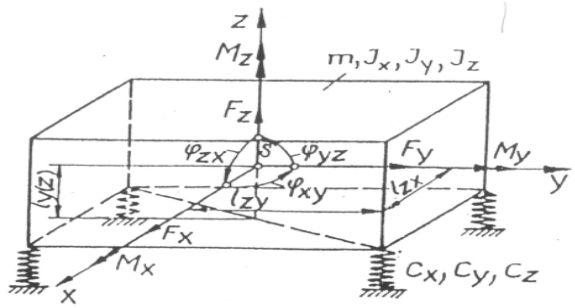
1- المحاور X,Y,Z هي المحاور الرئيسية للعطالة. في حين $\varphi_x,\varphi_y,\varphi_z$ هي زوايا الدوران حول هذه المحاور.

2- إن الإزاحات وزوايا الدوران صغيرة جداً. الكتلة الكلية $m=m_M+m_F$، m_M كتلة الآلة وm_F كتلة القاعدة. J_X,J_Y,J_Z عزوم العطالة الرئيسية حول المحاور.

3- ثابت النابض C(N/Cm) في حين C_x,C_y,C_z هي ثوابت النوابض الإفرادية في الاتجاهات X,Y,Z.

4- $I_{k,i}$ (i ,k= X,Y,Z) هي أبعاد نقاط تأثير النوابض.تعطي K اتجاه قوة النابض وتعطي i اتجاه بعد نقطة التأثير. أمَّا M,F فهي قوى وعزوم التحريض.

5- $J_X= I^2_x\ m$,$J_Y= i^2_y\ m$,$J_Z= i^2_z\ m$، إذْ i_x,i_y,i_z هي أنصاف أقطار عزوم العطالة الرئيسة



الشكل(2) النموذج الحسابي للآلة الصلدة

4-2 معادلات الحركة وحساب الترددات الذاتية

بناء على الإحداثيات يمكن وضع معادلات الحركة ببساطة بمساعدة مبدأ دالمبير، وانطلاقاً من إحداثيات غير معينة لا تطابق المحاور الأساسية للعطالة فإنه من المفضل استخدام معادلات لاغرانج، حيث تنشأ في نظام الإحداثيات الفراغي X,Y,Z ست معادلات تفاضلية خطية متجانسة (دون تحريض) للإزاحات X_S,Y_S,Z_S وللدوران $\varphi_x,\varphi_y,\varphi_z$ حول محاور الإحداثيات الرئيسة. وضِعَتْ معادلات الحركة معا في الجدول(1)، وقد تم في

هذا الجدول الجمع بالنسبة إلى عدد النوابض. يؤدي حل هذه المعادلات المترابطة مع بعضها إلى تحديد الترددات الذاتية كتوابع لمعاملات (Parameters) النظام جميعها، وينتج عن هذا الترابط انعكاس أي تغير في أحد الترددات الذاتية على بقية الترددات الذاتية.

الجدول (1) معادلات الحركة للآلة الصلدة من أجل الحركة في نظام المحاور الأساسية

$F_x = m\ddot{x} + x\sum c_x + j_y\sum c_x i_{xz} - j_z\sum c_x i_{xy}$
$F_y = m\ddot{y} + y\sum c_y - j_x\sum c_y i_{yz} + j_z\sum c_y i_{yz}$
$F_z = m\ddot{z} + z\sum c_z + j_x\sum c_z i_{zy} - j_y\sum c_z i_{zx}$
$M_x = -y\sum c_y i_{yz} + z\sum c_z i_{zy} + J_x\ddot{j}_x + j_x\left(\sum c_z i_{zy}^2 + \sum c_y i_{yz}^2\right) - j_y\sum c_z i_{zy} i_{zx} - j_z\sum c_y i_{yz} i_{yx}$
$M_y = x\sum c_x i_{xz} - z\sum c_z i_{zx} - j_x\sum c_z i_{zy} i_{zx} + J_y\ddot{j}_y + j_y\left(\sum c_z i_{zx}^2 + \sum c_x i_{xz}^2\right) - j_z\sum c_x i_{xy} i_{xz}$
$M_z = -x\sum c_x i_{xy} + y\sum c_y i_{yx} - j_x\sum c_y i_{yz} i_{yx} - j_y\sum c_y i_{xy} i_{xz} + J_z\ddot{j}_z + j_z\left(\sum c_y i_{yx}^2 + \sum c_x i_{xy}^2\right)$

لحساب الترددات الذاتية نحتاج فقط إلى نظام المعادلات، حيث توضَعُ القوى والعزوم المحرضة: F_X,F_Y,F_Z ، M_X,M_Y,M_Z مساوية للصفر، وكذلك بوضع الفرضيات (الحلول) الأساسية الآتية:

$Z=z_o\sin\omega t$ ، $Y=y_o\sin\omega t$ ، $X=x_o\sin\omega t$

$\varphi_z=\varphi_{zo}\sin w\omega t$، $\varphi_y=\varphi_{yo}\sin\omega t$، $\varphi_x=\varphi_{xo}\sin\omega t$

وبتعويض هذه الفرضيات في معادلات الحركة المتجانسة نحصل على نظام معادلات متجانسة من أجل المجاهيل:

x_o ،y_o ، z_K ،φ_{xo} ،φ_{yo} ،φ_{zo}.

وباستخدام التعابير المختزلة الآتية:

$$A_x = \frac{\sum c_z I_{zx}^2}{i_y^2\sum c_x} \quad ، \quad A_y = \frac{\sum c_z I_{zy}^2}{i_x^2\sum c_y} \quad ، \quad B_x = \frac{I_{xz}^2}{i_y^2} \quad ،$$

$$B_y = \frac{I_{yz}^2}{i_x^2}$$

يعطي حل المعادلات التفاضلية الترددات الذاتية الآتية:

$$،\ w_6 = \sqrt{\frac{\sum c_x I_{xy}^2 + c_y I_{yx}^2}{m.i_x^2}}$$

$$w_3 = \sqrt{\frac{\sum c_x}{m}}$$

$$w_{1,5} = \sqrt{\frac{\sum c_x}{m}}\sqrt{(A_x + B_x + 1)\mathbf{m}\sqrt{(A_x + B_x + 1)^2 - A_x}}$$

$\omega_{1,5}$: إذْ تأخذω_1 الإشارة السالبة و ω_5 الإشارة الموجبة.

$$w_{2,4} = \sqrt{\frac{\sum c_y}{m}}\sqrt{(A_y + B_y + 1)\mathbf{m}\sqrt{(A_y + B_y + 1)^2 - A_y}}$$

$\omega_{2,4}$ إذْ تأخذω_2 الإشارة السالبة و ω_4 الإشارة الموجبة

5- مرونة سطح الارتكاز -النوابض

5-1مرونة الأرض

تأخذ مرونة الأرض دور النوابض في حال الارتكاز المباشر للآلات عليها،إلا أن هذا النوع من المرونة مرتبط بعدم دقة في الحسابات؛ لذلك لا بدَّ من معرفته ومعالجته[1،5].

يرتبط تصميم قواعد الآلات المثبتة على هذا الشكل بمعرفة أساسية في الخواص الديناميكية و الستاتيكية للأرض، وهذه المعرفة لا يمكن الحصول عليها إلا بواسطة التجارب العملية.يظهر على سطح الارتكاز تحت الحمولات الستاتيكية انخفاض دائم ومرن، في حين تؤدي الحمولات الديناميكية الإضافية إلى تغيرات مرنة في الشكل فقط[6].

تأخذ من أجل الدراسة الديناميكية لقواعد الآلات القيم المميزة الديناميكية أهمية كبيرة وهي Cx,Cy,Cz، وتعرّف بأنها نسبة القوة (N)على مقدار تغيّر الشكل(m) وذلك لواحدة السطوح(m^2) أي إنَّ واحدتها (N/mm^2). تحدد هذه القيم تجريبياً، حيث تولد اهتزازات قسرية على الأرض بواسطة ألواح ارتجاج ذات سطح يساوي$2m^2$-- - $1m^2$، ثم تُقاس هذه الاهتزازات[6].

5-2 النوابض الفولاذية

تستخدم غالباً النوابض الحلزونية الأسطوانية ذات المقطع الدائري والمصنعة من الفولاذ وهي نوابض خطية. تمتلك هذه النوابض مرونات في الاتجاه المحوري وفي الاتجاهات المتعامدة مع المحور (C_x,C_y,C_z). يجب أن تكون النسبة (H/D)<2 إذْ H ارتفاع النابض تحت الحمل وD القطر المتوسط الخارجي،وذلك لتفادي انكسار النابض في الاتجاه المتعامد مع خط تأثير القوة المحورية. تنتج النوابض الفولاذية بكميات تجارية وبمقاييس محددة ومتنوعة وتتوافر مراجع متعددة من أجل الحسابات والتصميم المتعلق بها[7].

5-3 النوابض المطاطية

تثبت المادة المطاطية تحت تأثير الحرارة (Vulcanization) بين صفيحتين أو قطعتين من المعدن لتشكل وحدة نابضية متماسكة وتزود الصفيحتان ببراغي لوصلها مع الأجزاء الأخرى. وتنتج النوابض المطاطية بكميات تجارية وبمقاييس متعددة. وتتميّز هذه النوابض بالتخامد الجيد وتتأثر بالعوامل الخارجية وخاصة الحرارة. ولا بدَّ من معرفة أن ثابت النابض تحت الحمل الديناميكي أكبر منه تحت الحمل الستاتيكي. ويمكن الحصول على المواصفات العامة لهذه النوابض من نشرات المنتجين.

6-دراسة حالة عملية

سيبيّن في هذه الفقرة أثر الخلل في تنفيذ القواعد البيتونية في نشوء الاهتزازات في الآلات، وذلك في صالة أنوال الشوادر في الشركة العامة للمغازل والمناسج بدمشق، وقد أدى هذا الخلل إلى نشوء اهتزازات كبيرة غير مرغوبة في أحد الأنوال انتقلت بدورها إلى الأنوال الأخرى في الصالة مما اضطر إدارة الشركة إلى إيقاف العمل في هذه الصالة حرصاً على الآلات وكي لا تتعرض إلى قوى ديناميكية قد تؤدي إلى كسر بعض أجزاء الأنوال المهتزة مثل المسننات وغيرها، علماً أن المنشأة المذكورة هي منشأة اقتصادية وإن توقف الأنوال عن العمل له أثر اقتصادي سلبي في الاقتصاد الوطني؛ لذلك كان لابدَّ من تقديم دراسة ميكانيكية لمعرفة أسباب اهتزاز الآلات في صالة أنوال الشوادر.

6-1 وصف الحالة

تحتوي صالة أنوال الشوادر على تسعة عشر نولا لصناعة الشوادر.وبعد تركيب هذه الأنوال وتثبيتها على قواعدها بدأ استثمارها وبدأ الإنتاج الجيد من الأنوال.

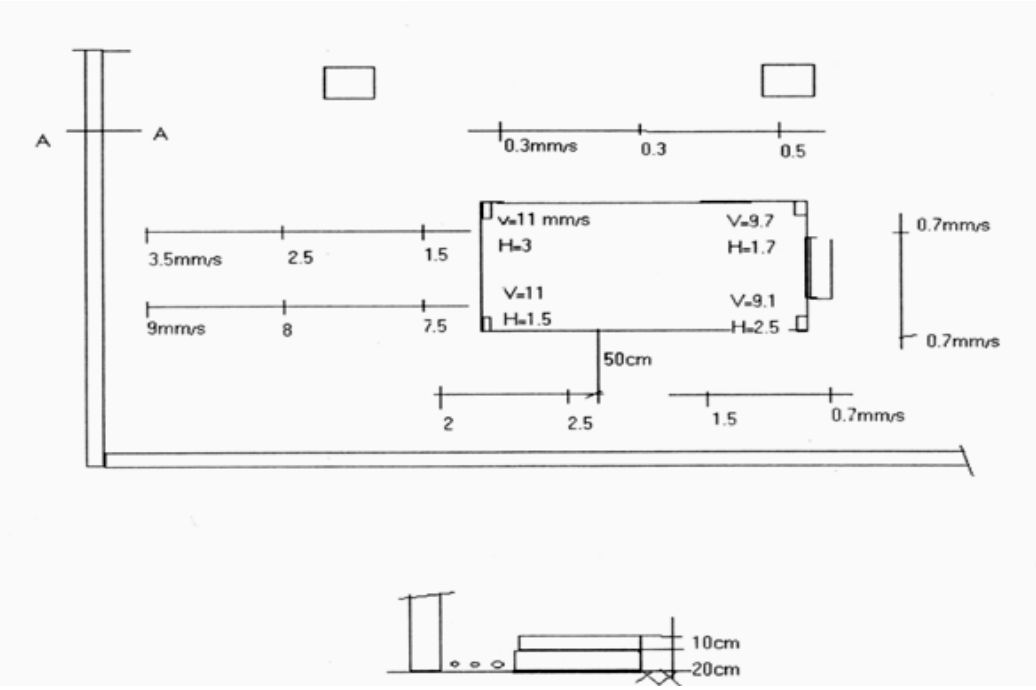
وبعد مدة معينة بدأت تنشأ ظواهر اهتزازية غير طبيعية في بعض هذه الأنوال والقاعدة الأرضية حولها. وقد راوحت هذه الاهتزازات بين اهتزازات ذات سعات منخفضة واهتزازات ذات سعات مرتفعة.

2-6 الدراسة العملية

استناداً إلى ما سبق قيستْ مستويات الاهتزاز لآلات النسيج من نوع SULZER بواسطة مقياس شدة الاهتزاز من نوع SPM 2010[8]، وحددت نقاط القياس على أرجل الآلة وعلى القواعد وفق الشكل المرفق. اختيرت آلتان:الآلة رقم /19/ والآلة رقم /11 /.

6-2-1 قياس مستويات الاهتزاز للآلة رقم /19/ وهي تعمل بحمل كامل:

حددت نقاط القياس على أرجل الآلة والقواعد البيتونية وفق الشكل (3).



الشكل(3) تحديد نقاط القياس

- أُجريتِ القياسات على أرجل الآلــة وفــق الاتجــاهين الشاقولي V والأفقي H.

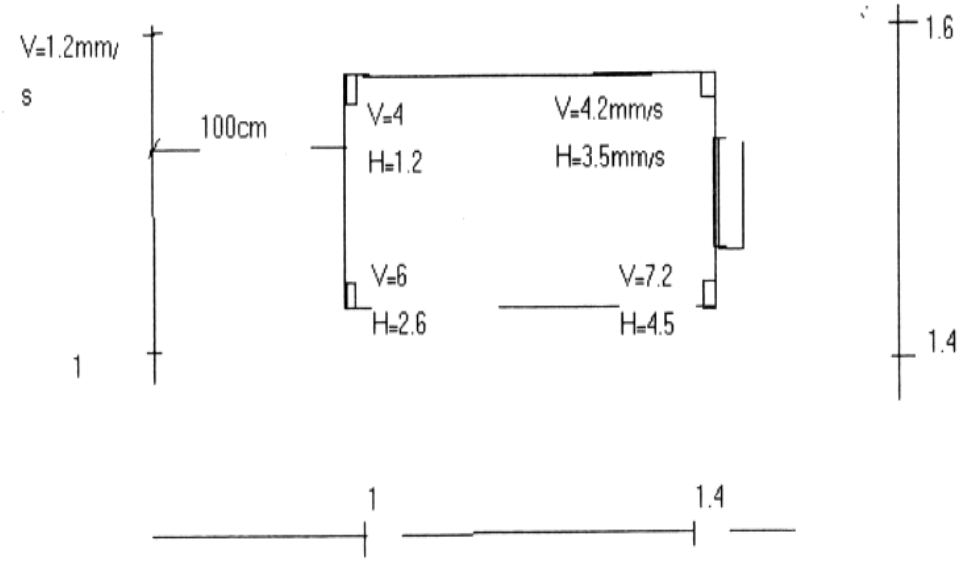
- أُجريتِ القياسات على القواعد البيتونية وفــق الاتجــاه الشاقولي V.

6-2-2 قياس مستويات الاهتزاز للآلة رقم /11/ وهــي تعمل بحمل كامل:

- حددت نقاط القياس على أرجل الآلة والقواعد البيتونية وفق الشكل (4):

- أُجريتِ القياسات على أرجل الآلة وفق الاتجاهين الشاقولي V والأفقي H.

- أُجريتِ القياسات على القواعد البيتونية وفق الاتجاه الشاقولي V.



الشكل(4) تحديد نقاط القياس

6-2-3 نتائج القياس:

وضِعَتْ نتائج القياس في الجدولين الآتيين (2) و(3)، حيث يحتوي الجدول رقم (2) على نتائج القياس على أرجل الآلة في النقاط المحددة على الشكلين(3) و(4) لكل من الآلتين /19/ و /11/. في حين يحتوي الجدول رقم (3) على نتائج القياس على القواعد البيتونية في النقاط المحددة على الشكلين(3) و(4) لكل من الآلتين /19/ و /11/.

الجدول (2) نتائج القياس على أرجل الآلتين وفق الاتجاهين الشاقولي والأفقي(mm/s)

4	3	2	1	نقطة القياس / رقم الآلة
V=9.1 H=2.5	V=9,7 H=1.7	V=11 H=1.5	V=11 H=3	19
V=7.2 H=4.5	V=4.2 H=3.5	V=6 H=2.6	V=4 H=1.2	11

الجدول (3) نتائج القياس على القواعد البيتونية وفق الاتجاه الشاقولي (mm/s)

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	نقطة القياس / رقم الآلة
0.7	0.7	0.7	1.5	2.5	2	7.5	8	9	1.5	2.5	3.5	0.5	0.3	0.3	19
									1.6	1.4	1.4	1	1	1.2	11

6-2-4 دراسة (تحليل) نتائج القياس

يتضح من نتائج القياس للآلة رقم /19/، المدونة قرب نقاط القياس وفي الجداول أعلاه، ارتفاع ملحوظ في مستويات الاهتزاز على الآلة وعلى القواعد البيتونية، ونلاحظ ارتفاعاً تدريجياً في مستويات الاهتزاز على القاعدة بين القناة والآلة.

كما يتضح من نتائج القياس للآلة رقم /11/، المدونة قرب نقاط القياس وفي الجداول أعلاه، أن مستويات الاهتزاز على الآلة /11/ مقبولة مقارنة بالآلة رقم /19/ و الاهتزاز جيد على القواعد البيتونية.

وبناء على نتائج القياس أعلاه يمكن وضع ما يأتي:

1- تتعرض الآلات في أثناء عملها لقوى محرضة طبيعية وتوافقياتها المنسوبة إلى سرعة الدوران، وهذا محدد من قبل الشركة الصانعة،وسوف تتولد اهتزازات طبيعية للآلة ،ولكن يجب أن تبقى ضمن حدود معينة.

2- إن تطبيق توصيات المعايير الدولية على هذا النوع من الآلات غير ممكن لأنَّها غير مشمولة بهذه المعايير، مثل الـــ ISO 10816 أو غيره، وفي مثل هذه الحالات يجب على الشركة الصانعة تزويد شركة المغازل والمناسج بالمستويات المقبولة للاهتزاز وغيرها من متطلبات سلامة التشغيل.

3- يجوز في مثل هذه الحالات مقارنة مستويات الاهتزاز لآلة ذات اهتزاز عالٍ بمستويات الاهتزاز لآلة ذات مستويات مقبولة.

4- يتبين مما ورد أعلاه أن الاهتزاز العالي للآلة رقم /19/ وقاعدتها مقارنة بالآلة رقم /11/ يعود إلى عدم استقرار القاعدة تحت الآلة،حيث لوحظ اهتزاز كبير لطبقة الغراوت، وهذا يعود إلى عدم وجود اتصال كامل بين طبقة الغراوت والطبقة البيتونية التي تحتها، ومن ثمَّ تعمل هذه الطبقة كجملة إنشائية مفصولة عن القاعدة البيتونية، وهذا يسبب تجاوباً كبيراً لهذه الطبقة مع القوى المحرضة الواصلة إليها من جهة الآلة (حتى لو كانت القوى المحرضة ضمن حدودها الطبيعية) وذلك بسبب سماكتها القليلة نسبياً وصلابتها العالية، ويتسبب اهتزازها بتحريض إضافي على الآلة، ومن ثمَّ تحصل الاهتزازات العالية للآلة. ويمكن أن يؤدي، أحياناً. تطابق التردد الذاتي لجهة من القاعدة مع أحد الترددات الذاتية للقوى المحرضة إلى نشوء الاهتزاز الطنيني (ظاهرة الطنين)، ممّا يؤدي إلى تشكيل خطر كبير على أجزاء الآلة والقواعد المحيطة بها.

يتضح مما تقدم واستناداً إلى المعطيات التي توافرت أن السبب الرئيسي لنشوء الاهتزازات العالية الضارة لبعض الآلات هو وجود خلل في تنفيذ القواعد البيتونية بسبب عدم تماسك طبقات هذه القواعد بشكل سليم إنشائياً، إذْ إنَّ التماسك السليم للطبقات يؤمن للقواعد التخميد اللازم وعدم التجاوب مع الاهتزاز الطبيعي للآلات. وفي هذه الحالة لابدَّ من إعادة دراسة القواعد بحيث تؤمن الصلابة والعطالة اللازمين لتأمين الاستقرار المطلوب في عمل الآلات.

7- الاستنتاجات والتوصيات

يمكن من خلال الدراسة النظرية والعملية الواردة أعلاه وضع الاستنتاجات والتوصيات الآتية:

1- إن تصميم القاعدة اعتماداً على الحمل الستاتيكي وعلى حسابات المتانة فقط غير كافٍ، حتى ولو أُدخِلَ عامل ديناميكي في حساب الأحمال الستاتيكية.

2- تتطلب دراسة نظام الاهتزازات تحديد الوسائط الديناميكية ثم حساب الترددات الذاتية التي تعتمد على معرفة أساسية في الخواص المرنة لسطح الارتكاز.

3- يجب أن يكون تردد التحريض (وهو ينتج غالباً عن عدد الدورات) بعيداً عن الترددات الذاتية جميعها، وذلك لتفادي الاقتراب من ظاهرة الطنين غير المرغوب فيها.

4- يجب أن تقع سعات الاهتزازات ضمن الحدود والمعايير المسموح بها.

5- يجب عند تنفيذ القواعد البيتونية للآلات التقيد التام بالمواصفات والمعايير النظامية الموافقة، وعدم مخالفة توصيات الشركات الصانعة للآلات بالنسبة إلى تنفيذ هذه القواعد.

المراجع:

1 – عبده شحادة: الاهتزازات الميكانيكية، جامعة دمشق، 1997، 382 صفحة.

2 – محمـــد رشـــيد الـــشربجي: ديناميـــك الآلات والاهتزازات، جامعة دمشق، 1988، 643 صفحة.

3- Grover, g, k, Mechanical Vibration, New chand, India, 1989, 468 pages.

4- Hoizweissig, F.Dresig, H., Lehrbuch der Maschinedynamik, Fachbuchverlag Leipzig, 1983.

5- EWINS, D.J., Modal Testing: Theory and Practice, London, 1995.313 pages.

6- VOLFSON, E.E., Mechanical Vibrations, Machinostroenee, Leningrad, 1990.

7- Gross, S., Berechnung und Gestaltung von Metallfedem, Springer-Verlag, Berlin, Hedelberg, 1960.

8- Jens, T.B., -Mechanical Vibration and Shock Measurements, BRUEL & KGAER, Denmark, pages 192.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2011/7/10