

## الاختيار الأمثل لطول شوط المكبس في أنظمة تعبئة السوائل

الدكتور محمد جمال نمرّة

الدكتور علي خلوف \*\*

محمد بشار غريب \*\*\*

(تاريخ الإيداع 10 / 4 / 2016. قُبل للنشر في 12 / 10 / 2016)

### □ ملخص □

في أنظمة تعبئة السوائل غير القابلة للانضغاط التي تستخدم مكبس ترددي ضمن اسطوانة و مقاد بأسطوانة هوائية

هناك العديد من البارامترات التي لها تأثير على هذه الأنظمة وأداء عملها ومن هذه البارامترات طول شوط المكبس.

تم في هذا البحث تبيان تأثير شوط المكبس على سرعة المكبس وعلاقته مع بعض البارامترات الأخرى خلال شوط التعبئة، بهدف الوصول لطول شوط المكبس الأمثل المستخدم في أنظمة تعبئة السوائل. في البداية تم إيجاد العلاقة النظرية بين طول شوط و سرعة المكبس وبقية البارامترات، ومن ثم تم تصميم وتنفيذ منصة للاختبار و ركبت عليها كافة أدوات القياس وأجهزة التحكم والتسجيل اللازمة للبحث، وتم إجراء التجارب المناسبة وأخذت القياسات المتعلقة، ثم بعد ذلك تم رسم المنحنيات البيانية المطلوبة. بينت النتائج أنه في أنظمة تعبئة السوائل توجد مجالات مثالية لقيمة طول شوط المكبس

**الكلمات المفتاحية:** سرعة المكبس، طول شوط المكبس، المكبس الهوائي.

\* أستاذ مساعد - قسم هندسة التصميم الميكانيكي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، سورية.

\*\* أستاذ - قسم القوى الميكانيكية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، سورية.

\*\*\* طالب دكتوراه، قسم هندسة التصميم الميكانيكي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق، سورية.

## Optimization of Piston Stroke Length in liquid Filling systems

Dr. Mohamad Jamal Namira \*  
Dr. Ali Khalouf\*\*  
Mohamad Bachar Gharib\*\*\*

(Received 10 / 4 / 2016. Accepted 12 / 10 / 2016)

### □ ABSTRACT □

In liquid filling systems using a cylinder with a reciprocating piston driven by pneumatic cylinder,

In the filling stroke there are a lot of parameters affecting these systems and their performances ,one of these parameters is a piston stroke length.

In this paper the influences of a piston stroke length and their parameters on the velocity of the piston has been studied in order to reach the optimum piston stroke length.

First the mathematical module of velocity of the piston and the length of the stroke and other parameters is extracted, then experiments are done using a special testing stand equipped by all control and measuring tools.

All reading data are converted into graphs.

The results show that In liquid filling systems there is an ideal value range for the piston stroke length.

**Key words:** piston velocity – piston stroke – pneumatic actuator.

---

\* Associate professor in Mechanical design engineering – faculty of Mechanical and electrical Engineering. Damascus University.

\*\*Professor in Power Mechanical Engineering Department. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University.

\*\*\*Postgraduate Student. Lecturer in mechanical design Engineering. Faculty Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University.

## مقدمة:

تعددت نظم تعبئة السوائل المستخدمة في الصناعة للأغراض المختلفة. منها يعتمد على مبدأ التناقل gravity حيث يتم تحديد كمية التعبئة من خلال تحديد زمن التعبئة مع المحافظة على مستوى ثابت للسائل في الخزان الرئيسي. بعض نظم التعبئة تعتمد على مبدأ الوزن weight حيث يتم تحديد كمية التعبئة باستخدام خلايا وزنية، حيث يقوم الميزان باغلاق صمام التعبئة عند الحصول على الوزن المطلوب. من أكثر الطرق شيوعاً هو استخدام طريقة الحقن الحجمية أو ما يسمى استخدام اسطوانة cylinder و مكبس ترددي reciprocating piston ضمنها، لها فتحة دخول وخروج مع صمامات للمواد تعبئتها ، وتقاد إما بمحرك كهربائي، أوفي معظم الحالات تقاد باسطوانة هوائية pneumatic cylinder و هي موضوع هذه الدراسة.

عادة يطلب من نظام تعبئة السائل liquid filling system تعبئة كمية أو حجم سائل ضمن مجال معين وقابل للعيار ، من أجل ذلك يتم تحديد قطر ثابت للاسطوانة و المكبس يناسب هذا المجال ، أما تحديد كمية السائل المراد تعبئتها بدقة فتتم بضبط طول الشوط stroke length المستخدم للمكبس حسب هذه الكمية المطلوبة.

تم في هذا البحث دراسة تأثير influence شوط المكبس على سرعة المكبس وعلاقته مع البارامترات الأخرى وصولاً لتحديد طول شوط المكبس الأمثل لاستخدامه في نظام التعبئة، حيث تعتبر سرعة التعبئة filling speed من اهم بارامترات parameters نظام التعبئة لأنها تؤثر مباشرة بمرود ونتاجية هذا النظام.

## أهمية البحث وأهدافه:

تكم أهمية البحث في تحديد البارامترات التصميمية لأنظمة تعبئة السوائل المستخدمة في الشركات المصنعة لآلات تعبئة السوائل في القطر العربي السوري.

يهدف البحث الى دراسة تأثير شوط المكبس على سرعة المكبس وعلاقته مع البارامترات الأخرى وصولاً لتحديد طول شوط المكبس الأمثل optimum piston stroke لاستخدامه في نظام التعبئة.

## طرائق البحث ومواده :

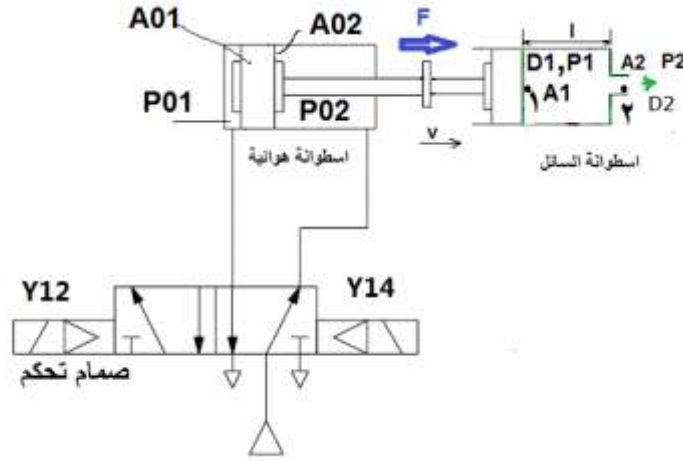
يتضمن البحث الخطوات التالية:

- الدراسة النظرية لعلاقة شوط المكبس على سرعة المكبس وعلاقته مع البارامترات الأخرى
- تنفيذ منصة للاختبارات testing stand
- الإجراء التجريبي على منصة الاختبار وأخذ القياسات
- تحليل ومناقشة النتائج
- الاستنتاجات والتوصيات

### 1- الدراسة النظرية لتحديد سرعة المكبس: يتألف نظام التعبئة المستخدم في هذا البحث كما هو مبين

في الشكل (1) من أسطوانة ومكبس ترددي للمواد السائلة له فتحة دخول وتصريف discharge للمادة السائلة، مقاد بأسطوانة هوائية مثبتة عليه مباشرة أي ان سرعة الأسطوانة الهوائية تساوي سرعة المكبس ويتم التحكم بحركة المكبس عن طريق دائرة تحكم كهروهوائية electro-pneumatic . يتألف نظام التعبئة للاسطوانة من مرحلتين هما التحضير

والتعبئة . في مرحلة التحضير يتجه المكبس بعيدا عن فتحة التصريف لملئ الاسطوانة بالسائل حسب الحجم المطلوب عن طريق التخلخل vacuum، ولم يتم التطرق لهذه المرحلة في هذا البحث بسبب محدودية ضغط السحب التخلخلي حيث ان اكبر قيمة لهذا الضغط pressure التي يمكن الحصول عليه هو -1 بار فقط وعمليا عندما تكون المواد ذات لزوجة عالية يتم استخدام مضخات خاصة لدفع السائل الى داخل الاسطوانة . في مرحلة التعبئة يقوم المكبس بدفع هذا السائل الى الخارج لتعبئته في العبوة المخصصة.



$l$  : طول شوط المكبس.  $D_1$  : قطر مكبس المادة السائلة.  $D_2$ : قطر فتحة التصريف.  $DO_1$  : قطر مكبس الهواء.  $P_1$  : ضغط المواد المعبأة.  $PO_1$  : ضغط الهواء أمام المكبس.  $PO_2$  : ضغط الهواء خلف المكبس.  $v_1$  : سرعة تقدم المكبس.  $v_2$  : سرعة خروج المواد السائلة.  $A_1$  : مساحة مكبس التعبئة.  $AO_1$  : مساحة مكبس الهواء من الأمام.  $AO_2$  : مساحة مكبس الهواء من الخلف.  $\rho$  : كثافة المادة المعبأة.  $Fr$  : قوى الاحتكاك للمكبسين.  $F$  : قوة دفع المكبس الهوائي.  $Y12, Y14$ : ملفات التحكم في صمام الهواء

الشكل (1): الأجزاء الأساسية لنظام تعبئة السائل.

عند تحريك مكبس الهواء بقوة force ما يقوم بدفع أسطوانة السائل المراد تعبئته بحيث يتم تصريف السائل من فتحة التصريف نتيجة زيادة الضغط الناتج من دفع المكبس للسائل، ويجب أن تكون القوة الناتجة من المكبس الهوائي أكبر من القوة المقاومة الناتجة عن نظام التعبئة بما فيها ضغط التعبئة و قوة الاحتكاك friction على جدران الأسطوانة الداخلية وقوة المقاومة الناتجة عن فقد الصدمي بسبب تضيق مقطع التصريف. ان أفضل قيمة لطول شوط المكبس وبقية البارامترات هي القيمة التي تحقق أعلى إنتاجية للنظام أي أعلى سرعة تعبئة وبالتالي أعلى سرعة للمكبس. لذلك كان لابد من معرفة العلاقة الرياضية mathematical module التي تبين حساب سرعة المكبس . لمعرفة هذه العلاقة نقوم بتطبيق معادلة برنولي العامة على النقطتين (1) داخل الأسطوانة و(2) بعد مخرج فتحة التصريف [2, 1] كما في الشكل (1).

$$\frac{1}{2} \rho \tilde{v}_1^2 + P_1 + g \rho h_1 = \frac{1}{2} \rho \tilde{v}_2^2 + P_2 + g \rho h_2 + \Delta P \dots (1)$$

باعتبار  $\Delta P$  هبوط الضغط بين نقطتي تحرك الكبس (1) و (2) بعد خروج السائل من الأسطوانة بسبب المقاومات المختلفة، و بحسب نوع الاحتكاك في الأسطوانة ولزوجة viscosity المواد وهندسة مقطع التضيق عند المخرج.

من معادلة الاستمرار لدينا تدفق السائل Q

$$Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2, \quad v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2} \quad \text{حيث:}$$

$P_1$ [Pa]: ضغط المواد في المكبس.

$\Delta p$  [Pa]: هبوط الضغط من النقطة (1) إلى (2).

$D_1$ [m]: قطر المكبس.

$D_2$ [m]: قطر فتحة التصريف.

$Q$ [ $m^3/s$ ]: غزارة تصريف المادة .

$g$ [ $m/sec^2$ ]: تسارع الجاذبية الأرضية.

بإصلاح المعادلة (1) ملاحظة ما يلي:

باهمال وزن عمود السائل داخل الأسطوانة بسبب صغره يمكن اعتبار أن الضغط الستاتيكي متساوي داخل وخارج الأسطوانة [9].

وبما أن  $P_2 = 0$  الضغط النسبي خارج الأسطوانة. و أن قيم مساحات المقطع هي

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4}, \quad A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4}$$

تنتج سرعة مكبس التعبئة

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P_1 - \Delta p)}{\rho[(D_1/D_2)^4 - 1]}} \quad (2)$$

وهذه هي العلاقة الرياضية لحساب سرعة المكبس  $v_1$

إن قيمة هبوط الضغط  $\Delta P$  هي عبارة عن الهبوط الحاصل في الضغط بسبب الجريان ضمن الأسطوانة  $\Delta P_1$

بالإضافة لهبوط الضغط pressure drop بسبب الفقد الصدمي sudden losses على مخرج الأسطوانة بسبب

التضيق المفاجئ في الأقطار والشكل الهندسي لفتحة التصريف  $\Delta P_2$ .

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 \quad (3)$$

- إن هبوط الضغط لجريان السائل ضمن الأسطوانة يحسب من معادلة دارسي [8,3,4]

$$\Delta P_1 = \frac{1}{2} \lambda \frac{\ell}{D} \rho \cdot \tilde{v}_1^2 \quad (4)$$

يحسب معامل الفقد loss coefficient  $\lambda$  حسب نوع الجريان.

أ- في حالة الجريان الصفائحي laminar flow [6]:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (5) \quad \text{تكون } \lambda \text{ تابعة لعدد رينولدز فقط} \quad Re \leq 2300$$

ب- في حالة الجريان المضطرب turbulent والسطح الأملس فإن  $\lambda$  تحسب من قانون بلازيوس للمقاومة

[10,7,5,1]

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-1/4} \dots\dots\dots(5)$$

وتحسب من قانون براندل [1,9]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg(Re \sqrt{\lambda}) - 0,8 \dots\dots\dots(6)$$

وهذه العلاقة دقيقة ولكن بحاجة لعملية تجريب عدة قيم لـ  $\lambda$  نظراً لوجودها في طرفي المعادلة حتى الحصول على تطابق بينهما.. في كلا الحالتين يجب حساب عدد رينولدز بمعرفة القطر D واللزوجة الحركية  $\mu$ .

$$Re = \frac{D \cdot v}{\nu} \quad \text{و} \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

حيث  $\mu$  اللزوجة التحريكية dynamic viscosity للسائل.

يعود سبب هبوط الضغط عند مخرج الأسطوانة لقوى الاحتكاك على جوانب فتحة التفريغ بالإضافة للخسارة في الضغط الناجمة عن ظاهرة التضييق أو ما يسمى الفقد الصدمي [1,2,3,8] ويحسب من العلاقة:

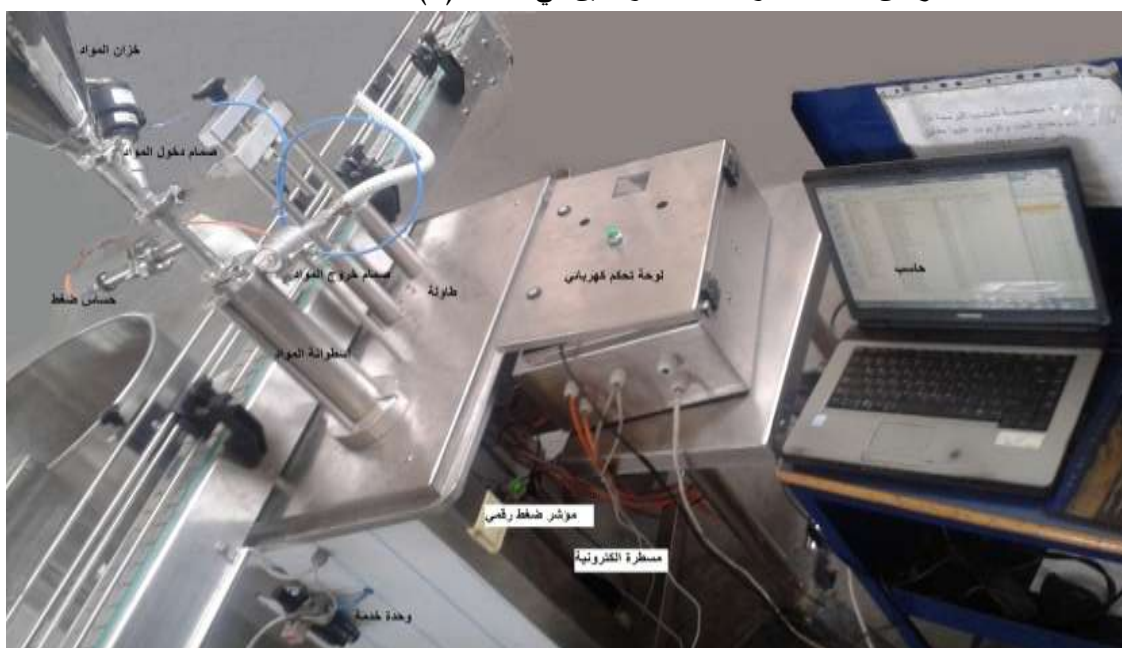
$$\Delta P_2 = \frac{1}{2} \rho \zeta \tilde{v}_2^2 \dots\dots\dots(7)$$

حيث  $\zeta$  هي معامل ضياع المقطع الكلي وقيمتها تتأثر بشكل كبير بالشكل الهندسي لمقطع التضييق ونسبة قطري الأنبوب بعد وقبل التضييق. تكون قيمة  $\zeta$  كبيرة في حالة الحواف الحادة sharp edges وتقل كلما كان هناك تضييق تدريجي بشكل مشطوف بزاوية. أما أقل قيمة لـ  $\zeta$  فهي عندما يكون شكل مقطع التضييق بشكل استدارة نصف قطرها  $r \geq 0,25D_2$  بحيث تكون

يلاحظ من العلاقات (2)،(4) أنه عند ضغط تعبئة ما كلما ازاد طول شوط الاسطوانة كلما انخفضت سرعة المكبس والعكس.

## 2- منصة الاختبار:

تتألف منصة الاختبار من ثلاث مجموعات كما هو مبين في الشكل (2):



الشكل (2): منظر عام لمنصة الاختبار.

**-المجموعة الأولى:** تحوي المجموعة الأولى على الأسطوانة الأساسية للمادة السائلة موصولة من الأعلى بخزان المواد عن طريق صمام الدخول بالإضافة لصمام الخروج وانبوب حتى فتحة التعبئة، وحساسات لقياس الضغط للمواد السائلة داخل و خارج الاسطوانة والهواء أمام المكبس كما هو موضح في الأشكال (3) و(4) ومثبتة على طاولة خاصة



الشكل (3): مقطع طولي في المجموعة الأولى لمنصة الاختبار.

في القسم السفلي تحت الطاولة، تتصل أسطوانة السائل بأسطوانة قيادة هوائية ذات ذراعين من الجهة العلوية للتحكم بحركة المكبس كما في الشكل (5) وقد تم تركيب مسطرة إلكترونية على الأسطوانة الهوائية من الجهة السفلية لقراءة مقدار انزياح المكبس مع الزمن كما تم تركيب صمامات تحكم هوائية مناسبة وحساس لقياس ضغط الهواء. وتم استخدام وحدة خدمة هوائية للتحكم بضغط الهواء وضبط قيمته حسب الطلب، ومن أجل تصفيته من الشوائب والرطوبة ، كما زودت بمؤشر ضغط رقمي دقيق كما في الشكل (6).



الشكل (4): القسم العلوي من المجموعة الأولى لمنصة الاختبار.



الشكل (7): المجموعة الثانية من منصة الاختبار



الشكل (5): القسم السفلي للمجموعة الأولى لمنصة الاختبار .



الشكل (6): وحدة خدمة هوائية مع مؤشر ضغط رقمي.

- **المجموعة الثانية:** وتحوي لوحة تغذية وتحكم كهربائية تعطي الأوامر للمجموعة الأولى وترسل قراءات حساسات sensors الضغط للسائل والهواء ونبضات المسطرة الإلكترونية linear encoder من أجل قياس الانزياح إلى جهاز التحكم القابل للبرمجة PLC الموجود فيها والذي يقوم بدوره بإرسال هذه المعلومات للمجموعة الثالثة كما في الشكل (7).

- **المجموعة الثالثة:** وهي عبارة عن حاسب يقوم باستلام المعلومات من جهاز التحكم المبرمج وتخزينها لنتم معالجتها لاحقاً كما يستخدم لتحديد طول شوط المكبس المطلوب. كما في الشكل (2).

### 3- الإجراءات التجريبي experimental procedures على منصة الاختبار:

تم إجراء أربعة مجموعات من التجارب باستخدام ثلاثة مواد سائلة وهي الماء وسائل التنظيف ومعجون التنظيف ثم باستخدام الاسطوانة الهوائية بشكل حر بدون نظام التعبئة من أجل المقارنة .

في كل مرة تم تحريك مكبس السائل عن طريق المكبس الهوائي كما في الشكل ( 1 ) وتم تحديد طول الشوط الأعظمي مساويا مثلي قطر الاسطوانة 160 و كان قطر الاسطوانة 80 ملم .

بالنسبة لسطح المكبس أخذ بشكل مستوي، وقد جعل الحجم الميت للمادة السائلة امام المكبس أصغريا، أي ان مكبس المادة السائلة يصل لنهاية شوطه مع نهاية الاسطوانة ،كما يستخدم عادة من قبل الشركات المصنعة المحلية. علما أنه لو كان الحجم الميت dead volume امام المكبس كبيرا فان هذا ممكن أن يؤدي لزيادة سطح

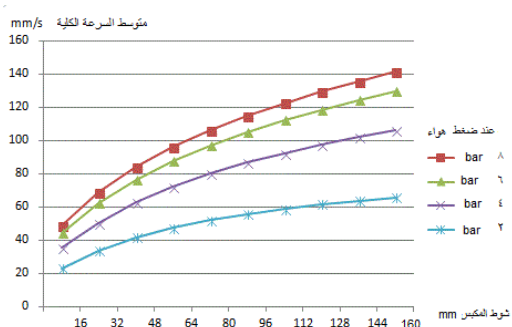


تلامس المادة وزيادة المقاومة بشكل قليل. وفي كل تجربة تم استخدام عدة ضغوط لمكبس الهواء من أجل اختبار عدة قيم لقوة المكبس الهوائي و هي:  $P=1-2-3-4-5-6-7-8 \text{ bar}$

تم قياس أزمناة الإزاحة للمكبس والضغوط الناتجة أثناء الحركة للمادة السائلة المعبأة وللاسطوانة الهوائية لكامل الشوط أثناء تقدمه بشكل تدريجي gradually على طول عشرة نقاط للإزاحة بمسافات بين كل نقطتين مساوية 16 ملم حيث تم تسجيل الزمن الكلي لتقدم المكبس عند نقطة وتم حساب الزمن اللحظي لتقدم المكبس بين كل نقطتين، كما تم حساب متوسط سرعة المكبس الكلية و اللحظية عند كل نقطة من هذه النقاط العشرة.

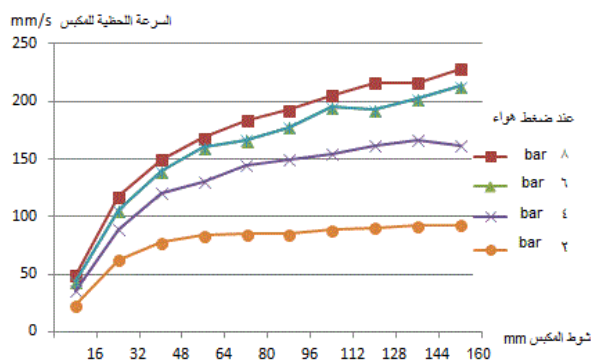
و سجلت القراءات والبيانات ضمن جداول وضعت في نهاية الدراسة في الجداول رقم (4, 3, 2, 1)

ثم تم رسم علاقة طول شوط المكبس  $l$  مع سرعته  $v$  لمادة معجون التنظيف detergent paste مع استخدام عدة ضغوط للهواء لمتوسط لسرعة الكلية للمكبس كما في الشكل (8)



الشكل (8): علاقة متوسط السرعة الكلية للمكبس مع طول شوط المكبس عند استخدام مادة المعجون و عدة ضغوط للهواء

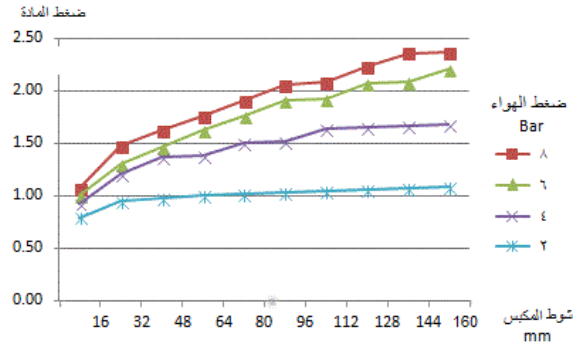
كما تم رسم علاقة طول شوط المكبس  $l$  مع سرعته  $v$  اللحظية كما في الشكل (9)



الشكل (9): علاقة السرعة اللحظية للمكبس مع طول شوط المكبس عند استخدام مادة المعجون و عدة ضغوط للهواء

ومن أجل معرفة العلاقة بين ضغط المادة المعبأة  $P1$  مع طول شوط المكبس  $l$  مثلت العلاقة بيانيا من أجل

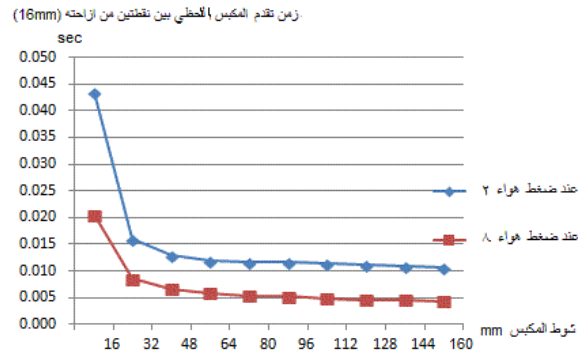
عدة قيم لضغط للهواء كما في الشكل (10)



الشكل (10): العلاقة بين ضغط مادة المعجون و طول شوط المكبس عند عدة ضغوط للهواء

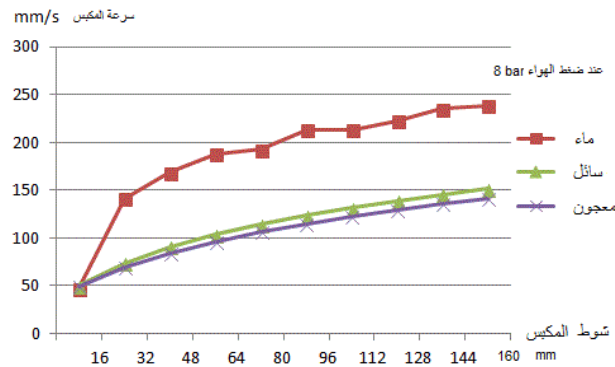
كما مثلت العلاقة بين زمن تقدم المكبس اللحظي بين نقطتين من نقاط الاراحة position وبين طول شوط المكبس

عند قيم ضغط هواء مختلفة كما في الشكل (11)



الشكل (11): علاقة زمن تقدم المكبس اللحظي مع طول شوط المكبس عند استخدام مادة المعجون وعدة ضغوط للهواء

بعد ذلك تم رسم علاقة طول شوط المكبس  $l$  مع سرعته  $v$  لكل من مواد معجون التنظيف وسائل التنظيف والماء عند ضغط هواء محدد 8 bar كما في الشكل (12).

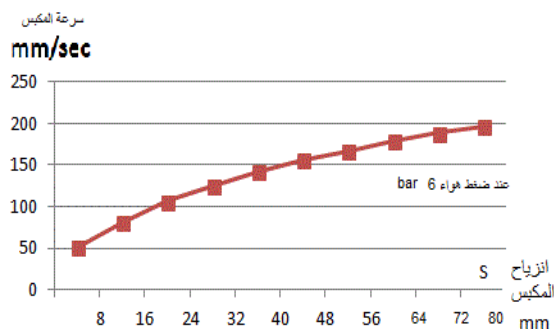


الشكل (12): علاقة متوسط السرعة الكلية للمكبس مع طول شوط المكبس عند استخدام مواد المعجون وسائل التنظيف والماء

نظرا للتأثير المباشر للاسطوانة الهوائية القائدة لنظام التعبئة تم اجراء تجربة خاصة بها لمعرفة تأثير طول شوط المكبس الهوائي على سرعته طالما أن السرعة مشتركة بينه وبين مكبس التعبئة. تم أخذ قراءات البارامترات المطلوبة

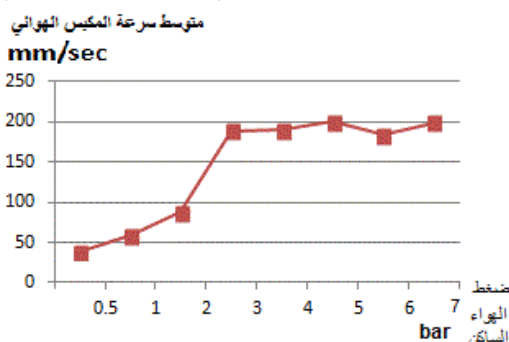
لعشرة أطوال لشوط للمكبس وقياس ضغط الهواء الأمامي front pressure والخلفي back pressure للمكبس أثناء تقدم المكبس والأزمنة وتم حساب متوسط سرعة المكبس عند عدة ضغوط هواء وسجلت النتائج في الجدول رقم (5).

تم تمثيل العلاقة بين طول شوط المكبس ومتوسط سرعته بيانياً من أجل ضغط هواء 6 bar كما في الشكل (13)



الشكل (13): علاقة متوسط السرعة الكلية للمكبس الهوائي الحر مع طول شوط المكبس

ومن أجل معرفة ضغط الهواء المناسب لاستخدامه في التجربة لإيجاد العلاقة بين طول شوط المكبس وسرعته تم تمثيل العلاقة بين سرعة المكبس وضغط الهواء الساكن (المضبوط قبل الحركة) بيانياً كما في الشكل (14)



الشكل (14): علاقة متوسط السرعة الكلية للمكبس الهوائي الحر مع ضغط الهواء الساكن

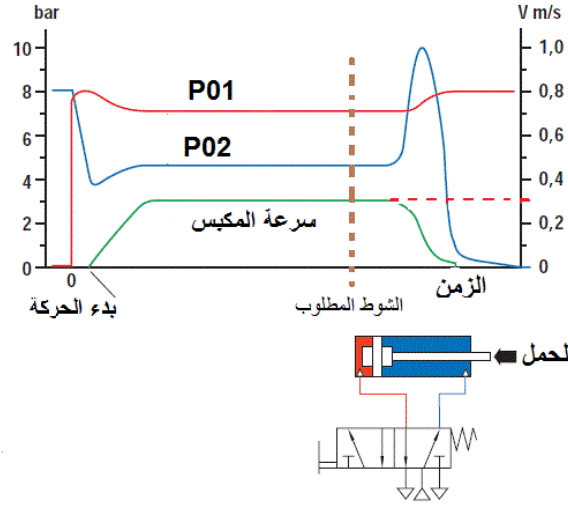
### النتائج والمناقشة :

• طالما أن هدفنا هو إيجاد الطول المثالي لشوط المكبس والذي يحقق أعلى سرعة مع المحافظة على دقة مقبولة ، وبمأن حجم التعبئة في نظام تعبئة السوائل متعلق بمساحة المكبس و طول شوطه ، فان دقة التعبئة تتطلب أن يكون قطر المكبس صغير بشكل كاف بحيث يؤدي لخطأ نسبي قليل نسبياً عند أي خطأ في انزياحه ، هذا يتطلب طول شوط أكبر للمكبس لتحقيق نفس حجم التعبئة .

• فيما يتعلق بتحقيق أعلى سرعة للمكبس وبما أن مكبس التعبئة ومكبس القيادة الهوائي مرتبطان معا كما هو

واضح في الشكل ( 1 ) فهذا يعني أن ميزات مكبس الهواء تؤثر مباشرة على نظام التعبئة ،حيث يلاحظ أن حركة المكبس تنقسم لمرحلتين كما يبدو في الاشكال ( 15,16) الأولى مرحلة اقلاع المكبس وهي المسافة من بداية الشوط وبدء حركته وحتى الوصول الى سرعة ثابتة وهي السرعة المقررة وعندما تبدأ الرحلة الثانية وهي مرحلة العمل الطبيعي

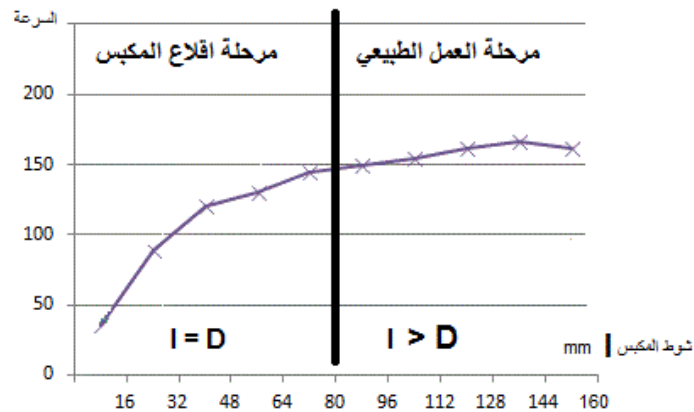
أو الفعال، كما يلاحظ أن المكبس الهوائي لا يستجيب فوراً لأمر الحركة بالتقدم بل يتأخر قليلاً حتى يدخل الهواء لحجرة المكبس ووصوله إلى الضغط اللازم لحركته [11, 12].



الشكل (15): ضغط الهواء الأمامي والخلفي وسرعة المكبس أثناء تقدم المكبس الهوائي

• ان مرحلة اقلاع المكبس هي مرحلة عمل ذات مردود قليل سواء كان هناك حمل او بدون حمل أي في حالة المكبس الحر وتمتد حتى مسافة  $l = 80 \text{ mm}$  وهذه القيمة تساوي قيمة قطر مكبس التعبئة  $D=80$  كما هو مبين في الاشكال (13,16).

• ان ازدياد لزوجة المادة المعبأة يؤدي لازدياد الضياعات المكانية وبالتالي ازدياد الحمل ويسبب في نقصان سرعة المكبس، كما يؤدي ازدياد لزوجة المادة المعبأة لنقصان طول مسافة اقلاع المكبس كما يبدو في الشكل (12).  
 • كلما انخفض ضغط الهواء في المكبس الهوائي كلما انخفض ضغط المادة المعبأة وكلما اصبحت مسافة اقلاع المكبس أقل وكلما أصبحت سرعة المكبس أقل وبالتالي انخفضت إنتاجيته وهذا مرفوض ويبدو هذا جلياً في الاشكال (8,9,10,14). لذلك لدراسة العلاقة بين طول شوط المكبس وسرعته يجب أن يكون ضغط الهواء مساوياً 3 bar كحد أدنى لكي تكون النتائج صحيحة .



الشكل (16): مراحل عمل نظام تعبئة السوائل

### الاستنتاجات والتوصيات :

في أنظمة تعبئة السوائل غير القابلة للانضغاط التي تستخدم مكبس ترددي ضمن اسطوانة و مقاد بأسطوانة هوائية وخلال مرحلة التعبئة يكون لطول شوط المكبس تأثير على سرعة المكبس وبالتالي على سرعة التعبئة وزيادة انتاجية هذه الانظمة حيث تم استنتاج مايلي:

- ان حركة المكبس تنقسم لمرحلتين:
- الأولى مرحلة اقلاع المكبس وتكون ذات مردود قليل وانتجية قليلة ودقة متدنية .
- الثانية مرحلة العمل الطبيعي وتتميز بالسرعة والاستقرار و دقة أعلى.
- ان زيادة طول الشوط بشكل كبير جدا اكبر من ضعفي قطر المكبس فان ازدياد السرعة يصبح قليلا و مهملًا، علاوة على أن زيادة طول الشوط بشكل كبير يؤدي الى زيادة زمن عودة المكبس في مرحلة تحضير التعبئة وامتلاء الاسطوانة وبالتالي انخفاض انتاجية النظام .
- ان ازدياد لزوجة المادة المعبأة يؤدي لازدياد الضياعات المكانية وبالتالي ازدياد الحمل ويسبب في نقصان سرعة المكبس ،كما يؤدي ازدياد لزوجة المادة المعبأة لنقصان طول مسافة اقلاع المكبس .
- يجب تجنب استخدام ضغط الهواء المنخفض دون 4 بار في المكبس الهوائي القائد بسبب انخفاض انتاجية نظام التعبئة علما أنه تصبح مسافة اقلاع المكبس أقل
- تبين أن خواص ومميزات الأسطوانة الهوائية القائدة لنظام التعبئة تؤثر بشكل مباشر على عمل أسطوانة تعبئة المواد السائلة خاصة فيما يتعلق بالسرعة.
- كاستنتاج نهائي للبحث تبين ان طول الشوط الأمثل للمكبس يتراوح ما بين مثل واحد الى مثلي قيمة قطر

$$\ell = Dto2D \quad \text{المكبس}$$

يقترح اجراء دراسة تفصيلية للاسطوانة الهوائية لتحديد تأثير البارامترات المختلفة لعمل هذه الاسطوانة.

## الجدول tables :

الجدول (1): قراءة بارامتر حركة المكبس أثناء استخدام مادة معجون التنظيف كمادة تعبئة

		الضوط مم		مستوي		مكس هواء ٨٠ مم		مكس مواد ٨٠ مم									
1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	ضوط الهواء	
0.506	0.526	0.692	0.793	0.848	0.852	0.876	0.927	0.946	0.959	1.057	1.005	0.937	0.96	1.07	1.07	1	ضوط المواد داخلي بار
0.541	0.539	1.013	0.948	1.133	1.032	1.187	1.211	1.261	1.255	1.321	1.304	1.394	1.518	1.47	1.47	2	
0.555	0.551	1.005	0.978	1.129	1.155	1.333	1.364	1.407	1.398	1.465	1.467	1.674	1.668	1.61	1.62	3	
0.563	0.56	1.011	1.005	1.155	1.171	1.47	1.376	1.533	1.551	1.613	1.623	1.679	1.677	1.87	1.76	4	
0.567	0.565	1.02	1.02	1.182	1.195	1.475	1.5	1.686	1.689	1.774	1.764	1.824	1.828	1.88	1.91	5	
0.572	0.57	1.03	1.03	1.296	1.221	1.623	1.518	1.701	1.701	1.919	1.905	1.957	1.963	2.03	2.06	6	
0.584	0.581	1.046	1.044	1.287	1.246	1.625	1.643	1.838	1.856	1.927	1.917	2.123	2.121	2.17	2.08	7	
0.59	0.589	1.061	1.058	1.29	1.268	1.638	1.653	1.855	1.869	2.077	2.067	2.128	2.129	2.31	2.23	8	
0.601	0.597	1.059	1.073	1.292	1.281	1.654	1.665	1.994	1.89	2.086	2.078	2.256	2.281	2.31	2.36	9	
0.611	0.604	1.062	1.083	1.294	1.291	1.67	1.68	1.993	2.018	2.208	2.206	2.268	2.289	2.44	2.36	10	
1.669	1.575	0.688	0.696	0.536	0.539	0.453	0.453	0.387	0.393	0.362	0.363	0.341	0.342	0.33	0.33	1	الزمن ثانية
2.823	2.711	0.949	0.953	0.753	0.754	0.636	0.634	0.551	0.556	0.514	0.515	0.486	0.481	0.47	0.46	2	
3.845	3.738	1.154	1.159	0.923	0.919	0.771	0.767	0.672	0.679	0.63	0.63	0.595	0.589	0.57	0.57	3	
4.817	4.714	1.349	1.35	1.072	1.072	0.89	0.89	0.783	0.786	0.73	0.73	0.693	0.689	0.67	0.67	4	
5.766	5.664	1.538	1.538	1.215	1.218	1.002	1.001	0.886	0.889	0.824	0.826	0.784	0.779	0.75	0.75	5	
6.692	6.586	1.723	1.726	1.356	1.353	1.11	1.108	0.977	0.984	0.915	0.916	0.87	0.865	0.84	0.84	6	
7.564	7.449	1.906	1.907	1.493	1.489	1.212	1.212	1.068	1.076	0.997	0.998	0.948	0.944	0.92	0.91	7	
8.393	8.279	2.083	2.084	1.625	1.622	1.311	1.311	1.155	1.162	1.08	1.081	1.024	1.022	0.99	0.99	8	
9.185	9.076	2.261	2.258	1.757	1.754	1.406	1.407	1.238	1.244	1.16	1.16	1.102	1.097	1.06	1.06	9	
9.94	9.83	2.44	2.43	1.89	1.89	1.51	1.51	1.32	1.33	1.23	1.24	1.17	1.17	1.13	1.13	10	
1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	ضوط الهواء	ضوط الهواء بار
1.2	1.202	2.052	2.041	2.448	2.47	3.344	3.347	4.197	4.18	5.122	5.123	5.983	5.993	6.82	6.79	1	
1.18	1.184	1.978	1.98	2.264	2.294	3.173	3.168	3.904	4.02	4.818	4.836	5.672	5.581	6.4	6.38	2	
1.171	1.175	1.908	1.912	2.228	2.251	3.017	3.003	3.743	3.731	4.528	4.546	5.378	5.426	6.11	6.08	3	
1.164	1.171	1.859	1.863	2.186	2.203	2.975	2.967	3.718	3.711	4.504	4.516	5.226	5.266	5.96	5.93	4	
1.16	1.166	1.827	1.831	2.149	2.163	2.816	2.923	3.558	3.555	4.362	4.37	5.072	5.117	5.81	5.78	5	
1.157	1.162	1.807	1.811	2.118	2.131	2.804	2.877	3.544	3.542	4.331	4.336	5.044	4.975	5.67	5.63	6	
1.151	1.159	1.791	1.797	2.093	2.104	2.783	2.834	3.516	3.515	4.19	4.199	4.908	4.952	5.65	5.62	7	
1.149	1.156	1.777	1.784	2.074	2.084	2.758	2.794	3.482	3.482	4.169	4.175	4.882	4.812	5.51	5.47	8	
1.145	1.152	1.767	1.774	2.058	2.067	2.733	2.76	3.342	3.447	4.14	4.144	4.736	4.795	5.49	5.46	9	
1.142	1.15	1.762	1.763	2.047	2.055	2.709	2.728	3.335	3.412	3.988	4.01	4.723	4.767	5.34	5.3	10	

الجدول (2): بارامترات حركة المكبس أثناء استخدام المواد المختلفة

ضوط الهواء بار		ماء		ضوط الهواء بار		سائل		ضوط الهواء بار		8		ضوط الهواء بار		8		ضوط الهواء بار	
ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس	ضوط المكبس
زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن	زمن
الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي	الزمن لحظي
م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م
م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م	م
1.07	49	0.328	0.328	16	1	0.945	50	0.321	0.321	16	1	0.526	47	0.338	0.338	16	1
1.47	69	0.136	0.464	32	2	1.102	74	0.113	0.434	32	2	0.68	142	0.113	0.451	32	2
1.62	84	0.107	0.571	48	3	1.285	91	0.096	0.53	48	3	0.84	168	0.095	0.546	48	3
1.76	96	0.095	0.666	64	4	1.47	104	0.088	0.618	64	4	0.88	188	0.085	0.631	64	4
1.91	106	0.087	0.753	80	5	1.601	114	0.084	0.702	80	5	1.02	193	0.083	0.714	80	5
2.06	115	0.083	0.836	96	6	1.738	124	0.075	0.777	96	6	1.17	213	0.075	0.789	96	6
2.08	123	0.078	0.914	112	7	1.752	131	0.076	0.853	112	7	1.171	213	0.075	0.864	112	7
2.23	130	0.074	0.988	128	8	1.762	139	0.071	0.924	128	8	1.3	222	0.072	0.936	128	8
2.36	136	0.074	1.062	144	9	1.915	145	0.068	0.992	144	9	1.452	235	0.068	1.004	144	9
2.36	141	0.07	1.13	160	10	1.916	151	0.067	1.06	160	10	1.437	239	0.067	1.07	160	10



الجدول (3): بارامترات حركة المكبس أثناء استخدام مادة معجون التنظيف كمادة تعبئة

التموط مم		160		معجون		قطر مكبس هواء		قطر مكبس مواد		80 مم																																									
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10																																	
ضغط الهواء بار	انزياح المكبس mm	زمن	الزمن لحظي	متوسط السرعة الكلية /mm s	سرعة لحظية المادة ١	ضغط المادة ١ Bar	زمن	الزمن لحظي	متوسط السرعة الكلية /mm s	سرعة لحظية المادة ٢	ضغط المادة ٢ Bar	زمن	الزمن لحظي	متوسط السرعة الكلية /mm s	سرعة لحظية المادة ٣	ضغط المادة ٣ Bar	زمن	الزمن لحظي	متوسط السرعة الكلية /mm s	سرعة لحظية المادة ٤	ضغط المادة ٤ Bar	زمن	الزمن لحظي	متوسط السرعة الكلية /mm s	سرعة لحظية المادة ٥	ضغط المادة ٥ Bar	زمن	الزمن لحظي	متوسط السرعة الكلية /mm s	سرعة لحظية المادة ٦	ضغط المادة ٦ Bar	زمن	الزمن لحظي	متوسط السرعة الكلية /mm s	سرعة لحظية المادة ٧	ضغط المادة ٧ Bar	زمن	الزمن لحظي	متوسط السرعة الكلية /mm s	سرعة لحظية المادة ٨	ضغط المادة ٨ Bar	زمن	الزمن لحظي	متوسط السرعة الكلية /mm s	سرعة لحظية المادة ٩	ضغط المادة ٩ Bar	زمن	الزمن لحظي	متوسط السرعة الكلية /mm s	سرعة لحظية المادة ١٠	ضغط المادة ١٠ Bar
0.53	10	10	1.58	1.58	0.79	23	23	0.7	0.7	0.85	30	30	0.54	0.54	0.93	35	35	0.45	0.45	16	1																														
0.54	14	12	1.14	2.71	0.95	62	34	0.26	0.95	1.03	74	42	0.22	0.75	1.21	88	50	0.18	0.63	32	2																														
0.55	16	13	1.03	3.74	0.98	78	41	0.21	1.16	1.16	97	52	0.17	0.92	1.36	120	63	0.13	0.77	48	3																														
0.56	16	14	0.98	4.71	1.01	84	47	0.19	1.35	1.17	105	60	0.15	1.07	1.38	130	72	0.12	0.89	64	4																														
0.57	17	14	0.95	5.66	1.02	85	52	0.19	1.54	1.20	110	66	0.15	1.22	1.50	144	80	0.11	1	80	5																														
0.57	17	15	0.92	6.59	1.03	85	56	0.19	1.73	1.22	119	71	0.14	1.35	1.52	150	87	0.11	1.11	96	6																														
0.58	19	15	0.86	7.45	1.04	88	59	0.18	1.91	1.25	118	75	0.14	1.49	1.64	154	92	0.1	1.21	112	7																														
0.59	19	15	0.83	8.28	1.06	90	61	0.18	2.08	1.27	120	79	0.13	1.62	1.65	162	98	0.1	1.31	128	8																														
0.60	20	16	0.8	9.08	1.07	92	64	0.17	2.26	1.28	121	82	0.13	1.75	1.67	167	102	0.1	1.41	144	9																														
0.60	21	16	0.76	9.8	1.08	93	66	0.17	2.4	1.29	122	85	0.13	1.9	1.68	162	106	0.1	1.5	160	10																														
0.96	41	41	0.39	0.39	1.01	44	44	0.36	0.36	0.96	47	47	0.34	0.34	1.07	49	49	0.33	0.33	16	1																														
1.26	98	58	0.16	0.56	1.30	105	62	0.15	0.52	1.52	115	67	0.14	0.48	1.47	118	69	0.14	0.46	32	2																														
1.40	130	71	0.12	0.68	1.47	139	76	0.12	0.63	1.67	148	81	0.11	0.59	1.62	150	84	0.11	0.57	48	3																														
1.55	150	81	0.11	0.79	1.62	160	88	0.1	0.73	1.68	160	93	0.1	0.69	1.76	168	96	0.1	0.67	64	4																														
1.69	155	90	0.1	0.89	1.76	167	97	0.1	0.83	1.83	178	103	0.09	0.78	1.91	184	106	0.09	0.75	80	5																														
1.70	168	98	0.1	0.98	1.91	178	105	0.09	0.92	1.96	186	111	0.09	0.87	2.06	193	115	0.08	0.84	96	6																														
1.86	174	104	0.09	1.08	1.92	195	112	0.08	1	2.12	203	119	0.08	0.94	2.08	205	123	0.08	0.91	112	7																														
1.87	186	110	0.09	1.16	2.07	193	118	0.08	1.08	2.13	205	125	0.08	1.02	2.23	216	130	0.07	0.99	128	8																														
1.89	195	116	0.08	1.24	2.08	203	124	0.08	1.16	2.28	213	131	0.08	1.1	2.36	216	136	0.07	1.06	144	9																														
2.02	193	121	0.08	1.3	2.21	213	130	0.08	1.2	2.29	216	137	0.07	1.2	2.36	229	141	0.07	1.1	160	10																														

الجدول (4): أزمنة حركة المكبس أثناء استخدام مادة معجون التنظيف

زمن كلي للحجم عند ضغطه	زمن نسبي للحجم عند ضغطه	زمن لحظي نسبي للحجم عند ضغطه	زمن نسبي للمكبس	انزياح المكبس mm	ثوط المكبس mm
0.044	0.021	0.044	0.021	1	16
0.030	0.015	0.016	0.009	2	32
0.024	0.012	0.013	0.007	3	48
0.021	0.010	0.012	0.006	4	64
0.019	0.009	0.012	0.005	5	80
0.018	0.009	0.012	0.005	6	96
0.017	0.008	0.011	0.005	7	112
0.016	0.008	0.011	0.005	8	128
0.016	0.007	0.011	0.005	9	144
0.015	0.007	0.011	0.004	10	160

الجدول (5): بارامترات حركة المكبس للاسطوانة الهوائية الحرة

				الاسطوانة الهوائية الحرة								
				63 mm				قطر مكبس هواء		80 mm	الشوط مم	
				7	6	5	4	3	2	1	0.5	ضغط الهواء
				4.548	3.916	3.162	2.564	1.828	1.236	0.889	0.222	1
				4.383	3.629	3.026	2.412	1.688	1.096	0.733	0.193	2
				4.234	3.621	3.02	2.276	1.677	1.09	0.577	0.167	3
				3.972	3.462	2.887	2.268	1.549	1.082	0.438	0.146	4
				3.967	3.323	2.756	2.124	1.54	1.072	0.417	0.129	5
				3.823	3.195	2.748	2.118	1.406	1.06	0.4	0.116	6
				3.676	3.054	2.618	1.988	1.401	0.923	0.381	0.105	7
				3.533	3.051	2.611	1.983	1.393	0.922	0.365	0.095	8
P01 bar	P02 bar	v 6 mm/sec	اترياح S المكبس mm	3.528	2.912	2.472	1.975	1.383	0.92	0.353	0.087	9
				3.392	2.907	2.465	1.845	1.246	0.916	0.337	0.077	10
4.8	3.9	51	8	0.16	0.16	0.17	0.17	0.16	0.63	0.75	1.18	1
4.7	3.6	82	16	0.19	0.2	0.2	0.21	0.2	0.68	0.88	1.33	2
4.5	3.6	106	24	0.22	0.23	0.23	0.24	0.24	0.71	0.99	1.44	3
4.3	3.5	125	32	0.25	0.26	0.26	0.27	0.27	0.74	1.08	1.55	4
4.3	3.3	142	40	0.28	0.28	0.29	0.29	0.29	0.77	1.15	1.64	5
4.2	3.2	156	48	0.3	0.31	0.31	0.32	0.32	0.8	1.19	1.73	6
4.2	3.1	167	56	0.33	0.34	0.34	0.35	0.35	0.83	1.24	1.82	7
4.0	3.1	179	64	0.35	0.36	0.36	0.37	0.37	0.86	1.29	1.9	8
4.0	2.9	188	72	0.38	0.38	0.38	0.4	0.4	0.88	1.33	1.98	9
4.0	2.9	197	80	0.403	0.407	0.407	0.422	0.425	0.912	1.375	2.08	10
				5.52	4.787	3.979	3.209	2.457	1.7	1.304	0.421	1
				5.36	4.652	3.839	3.069	2.304	1.685	1.013	0.391	2
				5.222	4.499	3.704	3.059	2.168	1.547	0.852	0.362	3
				5.079	4.336	3.704	2.924	2.161	1.544	0.705	0.34	4
				5.072	4.329	3.572	2.917	2.017	1.539	0.688	0.323	5
				5.061	4.189	3.57	2.783	2.014	1.533	0.673	0.309	6
				4.911	4.18	3.563	2.781	2.009	1.526	0.658	0.299	7
				4.769	4.047	3.429	2.776	2.002	1.52	0.646	0.291	8
				4.762	4.039	3.425	2.767	1.991	1.513	0.636	0.284	9
				4.754	4.03	3.42	2.758	1.981	1.506	0.625	0.279	10

الاسطوانة الهوائية الحرة									
				63 mm		قطر مكبس هواء		80 mm	الشوط مم
7	6	5	4	3	2	1	0.5	ضغط الهواء الساكن	
4.55	3.76	3.22	2.59	1.83	1.24	0.89	0.222	ضغط خلفي هواء	
0.4	0.44	0.4	0.42	0.43	0.91	1.38	2.08	الزمن هواء	
199	183	201	190	188	88	58	38	السرعة هواء mm/sec	
5.52	4.54	4.09	3.31	2.46	1.7	1.3	0.421	ضغط أمامي هواء	

## المراجع :

- [1].A.ACKL, *Technical Fluid Mechanics*.Vol.1, Damascus University press,1998,687.
- [2].A. ACKL,*Technical Fluid Mechanics*.Vol.2, Damascus University press, 1998,615.
- [31].CENGEL.Y.A; CIMBALA.J.M, *Fluid Mechanics*, 2006,934.
- [4].CROWE.C.T; ELGER.D.F; WILLIAMS.C.B; ROBERSON.J.A, *Engineering Fluid Mechanics*. 9<sup>th</sup> edition, 2009,600.
- [5].SCHOBEIRI.M.T. *Fluid Mechanics for Engineers*, 2010,504.
- [6].KREITH.F;BERGER.S.A. *Mechanical Engineering Handbook*. CRC Press, 1999, 209.
- [7]. MATOS.D; VALERIO.C. *Fluid Mechanics and Pipe Flow*. Nova Science Publishers, New York ,2009, 467.



[8].NESBITT.B. *Pumps and Pumping Handbook*. Elsevier Science & Technology Books, 2006, 470.

[9]. KARNEY. B. W. *Hydraulic Design Handbook*. McGraw-Hill , 2004,43.

[10].. NAYYAR. M. L. *Piping Handbook* . Seventh Edition, McGraw-Hill, 2000, 133.

[11].KRIVTS,I.L; KREJNIN.G.V. *Pneumatic Actuating Systems for Automatic Equipment Structure and Design*.2006,368.

[12].BARBER.A. *Pneumatic Handbook*, Eighth Edition, Elsevier Science & Technology Books,1997,659.