دراسة تأثير كثافة السائل على عمل مضخة الرفع الهوائية

أ.م.د طالب كشاش مرتضى* والمهندس سعد سامي فرحان**

تاريخ التسلم: ٢٠٠٣/١/٧
تاريخ القبول: ٢٠٠٤/١٢/١٤

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة تأثير كثافة السائل المراد رفعه على عمل مضخة رفع هوائية مكونة من أنبوب سحب وغرفة اختلاط بقطر [(0.0635, 0.0635) m] وبطول [(0.3, 0.3) m] وأنبوب رفع بقطر (0.03175 m) و بطول (2 m).

تم إجراء دراسة عملية لبيان تأثير كثافة السائل المراد رفعه على أداء المضخة وذلك من خلال استخدام نوعين من السوائل هما [الماء (Water)، النفط الأبيض (Kerosene)] وعند نسب غطس (0.2, 0.3, 0.4,0.5) ومعدلات جريان مختلفة للهواء المضغوط وبتثبيت درجة حرارة الدخول إلى غرفة الاختلاط لكل من الهواء المجهز والسائل المستخدم عند (25 °C).

بينت النتائج العملية زيادة معدل الضخ للسائل بزيادة معدل جريان الهواء حتى يصل معدل الضخ إلى قيمته القصوى ثم يبدأ بعدها معدل الضخ بالانخفاض بزيادة معدل جريان الهواء المضغوط.

كما نلاحظ زيادة معدل الضخ بانخفاض كثافة السائل المستخدم وعند نسب غطس ومعدلات جريان الهواء المدروسة في البحث.

Abstract

This research has studied the Effect of Lifted Liquid Density on the Function of Air Lift Pump which consisted of a suction pipe and mixing chamber with diameter [(0.0635,0.0635) m] ,length [(0.3,0.3) m] and a lifting pipe of diameter (0.0317 m.) length (2m).

An empirical practical study have implemented to show the Effect of density for the liquid being lifted, on the pump Function throughout using two kinds of liquids (water, Kerosene), at submergence ratio of (0.2,0.3,0.4,0.5) and different compressed air flow rates, with a constant temperature. When entering the mixing chamber for both supplied air and used liquid at (25 ° C).

The practical results have showed an increasing of liquid pumping rate by increasing air flow rate until it reaches max. value then it will descent by increasing compressed air flow rate.

We can also notice increasing of pumping rate by decreasing the used liquid density at submergence ratios and air flow rates listed in the research.

المقدمة

مضخة الرفع الهوائية هي عبارة عن جهاز بسيط يتكون من أنبوب عمودي يدعى أنبوب الرفع (lifttube) مفتوح النهايتين يغمر جزئيا في السائل المراد رفعه كما موضح في الشكل (١)، ويتم تجهيز الهواء المضغوط بواسطة أنبوب يتصل بأنبوب الرفع في مكان قريب من النهاية السفلى وفي منطقة مستعرضة تسمى غرفة الاختلاط (mixing chamber)، يتصل بها من الجهة السفلي أنبوب قصير يدعى أنبوب السحب (suction pipe). ان تجهيز الهواء المضغوط يؤدي إلى تكوين مزيج من الهواء والسائل ذو كثافة اقل من كثافة السائل المحيط بالأنبوب من الخارج مما يؤدي إلى ارتفاع الخليط وبذلك يتحقق الغرض من المضخة [1].

ولقد اهتم الباحثون منذ فترة طويلة تعود الى بدايات القرن الماضي بدراسة أداء مضخة الرفع الهوائية وذلك لتعدد استخدام هذه المضخة في العديد من المجالات الصناعية مثل (الري، الصناعات النفطية، الصناعات النووية والكيميائية) (2،3). ونظرا لهذه

* قسم التعليم التكنولوجي / الجامعة التكنولوجية
** قسم هندسة المكائن والمعدات / " "

https://doi.org/10.30684/etj.24.1A.9
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

الأهمية فقد قام العديد من الباحثين بدراسة هذا الموضوع من الناحية النظرية والعملية.

قام الباحثان (Stenning and Martin) (1) في عام (1968) بعدد من التجارب على مضخة رفع هوائية ذي قطر (25.4 mm) وبارتفاع (4.267 m) مع نسب غطس مختلفة (0.709 ، 0.629 ، 0.532 ، 0.442)، كما قاما بتحليل أداء المضخة وذلك بتطبيق معادلة الزخم والاستمرارية على غرفة الاختلاط وبإهمال خسائر الاحتكاك عند الجدار ، ثم طبقا معادلة الزخم على المائع الموجود في أنبوب الرفع للمضخة حيث تم اخذ خسائر الاحتكاك بنظر الاعتبار وبالاعتماد على الصيغة الموضوعة من قبل (Griffith and Wallis) [٥] حيث توصلوا الى العلاقة الآتية:

$$\frac{Hs}{Lp} - \frac{1}{[1+\frac{Q_g}{SQ_l}]} = \frac{V_l^2}{2gLp}[(K+1)+(K+2)\frac{Q_g}{Q_l}]$$

Where: $$K = \frac{4f\,Lp}{D}$$

وفي عام (1980) قام الباحث (G.J. Parker) [٦] بدراسة تأثير تصميم غرفة الاختلاط على أداء مضخة رفع هوائية بقطر (24.3 mm) ، حيث تم استخدام تصميمين مختلفين لغرف الاختلاط الأولى غرفة اختلاط ذو غلاف هوائي والثانية غرفة اختلاط ذو منفث هوائي .

وقد استنتج الباحث بان معدل الضخ للمضخة لا يعتمد على عدد وحجم فتحات حقن الهواء في حالة غرفة الاختلاط ذو الغلاف الهوائي ، اما في النوع الثاني فقد وجد بان مساحة الفتحة واضحة التاثير على كمية الماء المرفوع.

قام الباحثان (Kouremenos and Staicos) [٧] في عام (1985) بأجراء عدد من التجارب على مضخة رفع هوائية ذات أقطار صغيرة [mm (19.23 ، 16 ، 14.5 ، 12)] ، وبأنبوب رفع (933 mm) ولحالة جريان كتلي ثنائي الطور (slug flow) ، إذ قاما بقياس معدل جريان الماء والهواء عند نسب غطس مختلفة (0.7 ، 0.65 ، 0.6 ، 0.55).

وفي عام (1987) قام الباحثون (Morrison, *et al*) (8) بالمقارنة بين موزع هواء ذو أربعة ثقوب وموزع هواء ذو ثمانية ثقوب لمضخة رفع هوائية بقطر (38.1 mm) وبطول (3.04 m) ، حيث وجدوا بان كفاءة المضخة في حالة موزع الهواء ذي ثمانية ثقوب تكون اكبر من كفاءة الموزع ذي أربعة ثقوب.

وفي عام (2000) قام الباحث (نبيل سمير) (9) بدراسة تأثير درجة حرارة الخليط ثنائي الطور على أداء مضخة الرفع الهوائية المكونة من أنبوب رفع بقطر (0.03175 m) وبطول (2 m).

وقد تم أجراء التجارب العملية على هذه المضخة عند درجات حرارة مختلفة للخليط ثنائي الطور وه [C ° (90 ، 80 ، 70 ، 60 ، 50 ، 40 ، 30 ، 20)] وبصورة متعاقبة ونسب غطس (0.5 ، 0.4 ، 0.3 ، 0.2). حيث أظهرت النتائج العملية زيادة معدل الضخ بزيادة درجة حرارة الخليط ثنائي الطور وبنسبة لم تتجاوز (17.25%) عند ارتفاع درجة الحرارة (C° 90 – 20) ولنسبة غطس (0.2).

وفي عام (1999) قام الباحثون (Saito, et al) [١٠] بعدد من التجارب على مضخة رفع هوائية بقطر (151 mm) وبطول (212.6 m) وذلك لرفع جزيئات المنغنيز الموجودة في عمق البحر كما قاموا بمقارنة نتائج التحليل النظري مع النتائج العملية وحصلوا على تقارب مقبول.

اما البحث الحالي فيتناول دراسة تأثير كثافة السائل المراد رفعه على عمل المضخة، وذلك من خلال استخدام نوعين من السوائل [الماء (water) ، النفط الأبيض (kerosene)] وعند نسب غطس (submergence ratio) (0.5 ، 0.4 ، 0.3 ، 0.2) ومعدلات جريان مختلفة للهواء المضغوط وبتثبيت درجة حرارة الدخول إلى غرفة الاختلاط لكل من الهواء المجهز والسائل المستخدم عند (C° 25) .

الجهاز المستخدم في إجراء التجارب العملية

يتألف الجهاز المستخدم لغرض أجراء التجارب العملية والموضح في الشكل (2) من الأجزاء الآتية:منظومة ضغط الهواء

تتكون منظومة ضغط الهواء من الأجزاء الآتية :

1- **ضاغطة هواء ترددية (Reciprocating Air Compressor)**

وهي عبارة عن ضاغطة ترددية ذات مرحلتين تعمل باقصى ضغط (12 bar) وتدار بمحرك كهربائي ثلاثي الأطوار (3 - phase) تبلغ سرعته الدورانية (1100 r.p.m) وبقدرة (7.5 Kw) ، تربط مع الضاغطة دائرة سيطرة كهربائية مع مفتاح كهربائي

يتحسس الضغط (pressure switch) يمكن تنظيمه حسب الحاجة للحصول على الضغط المطلوب .

2- **خزانين معدنيين**

يستخدم الخزانين المعدنيين لخزن كمية من الهواء المضغوط وتجهيزه الى المضخة ويتم ذلك من خلال:

i) غلق صمام تجهيز الهواء.

ii) تشغيل ضاغطة الهواء الترددية لتجهيز الخزانين المعدنيين بالهواء المضغوط حيث ينطفئ المحرك ذاتيا عند وصول ضغط الهواء (10 bar) .

iii) فتح صمام التجهيز لتزويد مقطع الاختبار بالهواء المضغوط وغلقه عند الانتهاء من اخذ القراءة.

مقطع الاختبار

يتألف مقطع الاختبار للجهاز المستخدم في إجراء التجارب العملية من الأجزاء الآتية:

1- أنبوب السحب (*suction pipe*)

وهو عبارة عن أنبوب ذو مقطع دائري بقطر (0.0635 m) وبطول (0.3 m).

2- غرفة الاختلاط

وهي عبارة عن أنبوب بقطر (0.0635 m) وبطول (0.3 m) تحتوي على فتحتين عمودية على المحور الطولي ، الأولى لدخول الهواء المضغوط وتقع في منتصف المسافة بين أنبوب الرفع وأنبوب السحب ، والثانية تقع في الجهة المقابلة للفتحة الأولى وفي المنطقة بين غرفة الاختلاط وأنبوب السحب وقد أعدت هذه الفتحة لإدخال المزدوج الحراري وذلك لقياس درجة حرارة السائل الداخل الى غرفة الاختلاط .

3- أنبوب الرفع (Lift Tube)

وهو عبارة عن أنبوب ذو مقطع دائري بقطر (0.0317 m) وبطول (2 m).

أحواض السائل

وهما عبارة عن حوضين مصنعين من مادة الصفيح المغلون على شكل متوازي المستطيلات أبعاد الحوض العلوي [(0.35 × 0.5 × 1.075) m]، يستند على قاعدة متحركة يمكن تغيير ارتفاعها لتحقيق نسبة الغطس المطلوبة كما مبين في الشكل (٢) ، الوجه العلوي للحوض مفتوح بينما يحتوي وجهه السفلي على فتحة بقطر (0.05 m) يتصل بها أنبوب مطاطي قطره الداخلي (0.05m) أما الحوض السفلي فأبعاده [(0.4 × 0.36 × 0.469) m] يحتوي وجهه العلوي على فتحة تنفيس ، وفتحة لربط أنبوب زجاجي شفاف لمعرفة مستوى السائل داخل أنبوب الرفع ، كما تم تثبيت أنبوب السحب على الوجه العلوي للحوض ، بينما يحتوي أحد الأوجه الجانبية على فتحة بأسفله بقطر (0.05 m) وذلك لربط الطرف الثاني للأنبوب المطاطي لغرض إيصال السائل من الحوض العلوي الى الحوض السفلي، بينما يحتوي الوجه الجانبي المقابل على فتحة لتثبيت المسخن الكهربائي لغرض الحصول على درجة حرارة ثابتة للسائل خلال أجراء التجارب، كما يحتوي الحوض السفلي على فتحة لاخراج السائل بعد الاستعمال، ويعمل الحوض العلوي على إبقاء مستوى السائل ثابتاً داخل أنبوب الرفع أثناء عمل المضخة بينما يعمل الحوض السفلي على تزويد أنبوب السحب بالسائل أثناء عمل المضخة.

المسخنات الكهربائية (Electrical Heaters)

لغرض الحصول على درجة الحرارة المطلوبة (25 °C) لكل من الهواء المجهز والسائل المستخدم فقد تم تركيب نوعين من المسخنات وهي:

١. *مسخن الهواء*

إذ تم إحاطة أنبوب نحاسي بقطر (0.019 m) وبطول (1.5 m) بشريط مسخن كهربائي ، ويتم التحكم بقدرة المسخن بواسطة محولة كهربائية متغيرة (Variac) ذو قدرة (1000 W) ويحاط الشريط المسخن من الخارج بطبقة من العازل لتقليل الخسائر الحرارية.

٢. *مسخن السائل*

للحصول على درجة الحرارة المطلوبة للسائل المستخدم خلال أجراء التجارب فقد تم استخدام مسخن كهربائي يثبت في أحد الأوجه الجانبية للحوض السفلي ويتم التحكم بالقدرة المجهزة للمسخن عن طريق ربطه بمحولة كهربائية متغيرة (Variac).

وعاء الفصل (Separator Vessel)

وهو عبارة عن وعاء معدني بسعة (5) لتر يثبت في أعلى أنبوب الرفع ويعمل على فصل الهواء عن السائل إذ يخرج الهواء عن طريق فتحة تقع في الوجه العلوي للوعاء ، اما السائل فيتجمع ويخرج عن طريق فتحة تقع في اسفل الوعاء بقطر (0.035 m) إلى الحوض العلوي للمضخة.

النتائج والمناقشة

تأثير كثافة السائل المراد رفعه على معدل الضخ:

لدراسة تأثير كثافة السائل المراد رفعه على معدل الضخ فقد تم استخدام نوعين من السوائل وهما

[الماء (Water) – النفط الأبيض (Kerosere)]، وعند نسب غطس (0.5 , 0.4 , 0.3 , 0.2) ومعدلات جريان مختلفة للهواء المضغوط إذ نلاحظ زيادة معدل الضخ للسائل بنقصان كثافته ولمختلف نسب الغطس المستخدمة في البحث وبثبوت معدل جريان الهواء المجهز، وكما موضح في الأشكال (3) ، (4) ، (5) ، (6).

إذ بلغت نسبة الزيادة في معدل الضخ الأقصى (3%) عند نسبة غطس (0.3) ودرجة حرارة (25 C^o) لكل من السائل المستخدم والهواء المجهز.

في حين بلغت نسبة الزيادة في معدل الضخ الأقصى (9.7%) عند نسبة غطس (0.2) ودرجة حرارة (25 C^o) لكل من السائل المستخدم والهواء المجهز، وتتدرج نسبة الزيادة في معدل الضخ الأقصى بين هاتين القيمتين عند نسبة غطس (0.2) و (0.5).

إذ أن انخفاض كثافة السائل يؤدي إلى انخفاض كتلته وذلك لتساوي الحجم المشغول لكلا السائلين المستخدمين في البحث وبالتالي زيادة سرعة رفعه مما يؤدي إلى زيادة معدل ضخه.

تأثير معدل جريان الهواء المضغوط على معدل الضخ

لبيان تأثير معدل جريان الهواء المضغوط على معدل الضخ، تم تجهيز مضخة الرفع الهوائية بمعدلات جريان مختلفة للهواء المضغوط تتراوح ما بين (0 12.4 g/s) في حالة استخدام كلا السائلين (الماء والنفط الأبيض) وعند نسب غطس (0.2, 0.3, 0.4, 0.5).

إذ تبين عدم حصول أي ضخ للسائل عند معدلات جريان الهواء الواطئة وذلك بسبب عدم كفاية كمية الهواء المجهز إلى غرفة الاختلاط لرفع مستوى السائل أعلى من النهاية العليا لأنبوب الرفع وبزيادة معدل جريان الهواء يبدأ معدل الضخ بالازدياد إلى أن يصل إلى قيمته القصوى يبدأ بعدها معدل الضخ بالانخفاض بزيادة معدل جريان الهواء وكما موضح في الأشكال (3) ، (4) ، (5) ، (6).

وان سبب الانخفاض بمعدل الضخ يعود إلى زيادة خسائر الاحتكاك بزيادة معدل جريان الهواء والتي يطغى تأثيرها على قوة الطفو.

الاستنتاجات

١. زيادة معدل الضخ للسائل المستخدم بانخفاض كثافته وعند نسب الغطس ومعدلات جريان الهواء المدروسة في البحث.

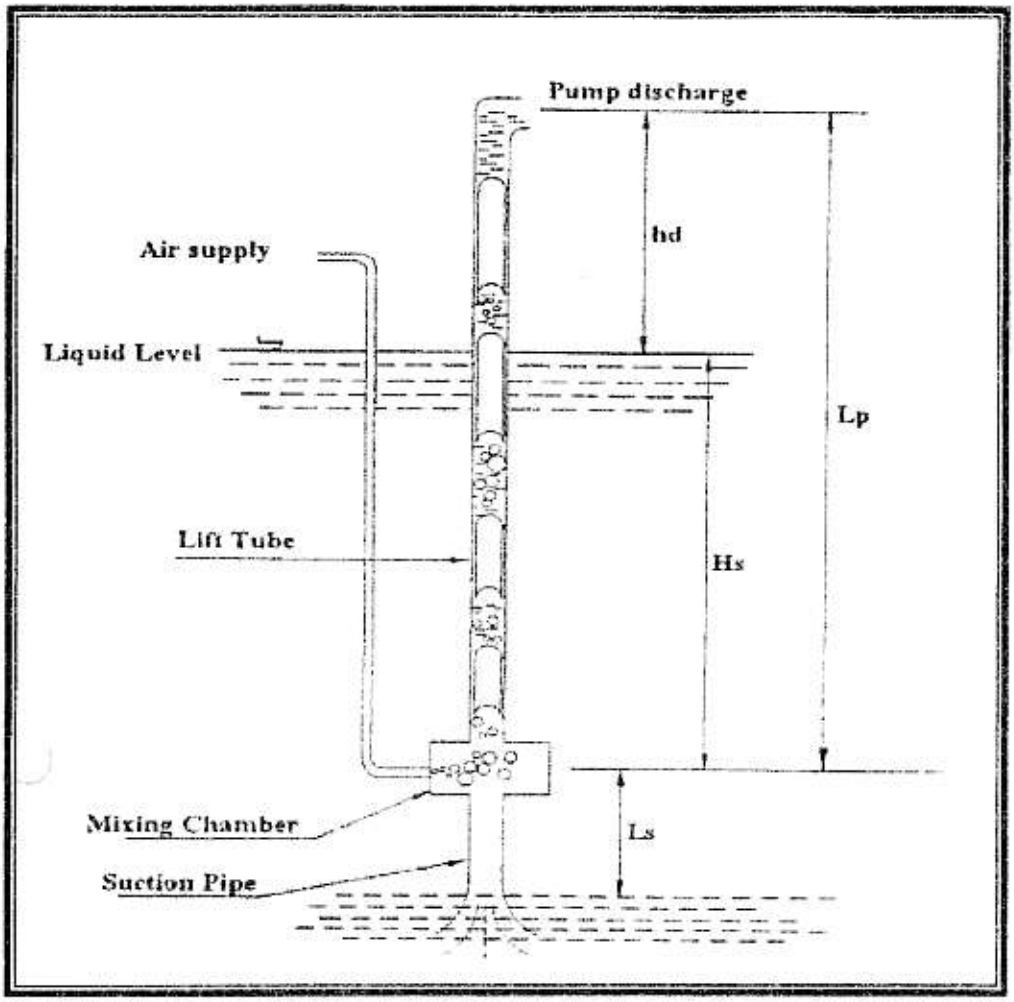
٢. زيادة معدل الضخ للسائل بزيادة معدل جريان الهواء المضغوط حتى يصل إلى قيمته القصوى ثم يبدأ معدل الضخ بعد هذه القيمة بالانخفاض بزيادة معدل جريان الهواء ولكافة الظروف المدروسة في البحث.

المصادر

1. Reinemann, et al. "Theory of Samll-Diameter Air Lift Pumps", Int.J.Multiphase Flwo, (1990), Vol. 16, No. 1, PP (113-122).
2. Twort A.C., etal., "Water Supply", Third Edition, (1985), PP (123-126).
3. Clark N.N, Debolt R.J., "A General Design Equation For Air Lift Pumps Operating in Sluy Flow", AIChE Journal, (1986), Vol. 32, No.1, PP (56-64).
4. Stenning A.H., Martin C.B, "An Analytical and Experimental Study of Air-Lift Pump Performance", Transactions of ASME, April, (1968), PP (106-110).
5. Griffith P., Wallis G.B., "Two-Phase Slug Flow", Journal of Heat Transfer, August, (1961), PP (307-319).
6. Parker G.J., "The Effect of Footpiece Design on The Performance of Smaal Air Lift Pump", J. Heat and Fluid Flow, (1980), Vol.2, No.4, PP (245-252).
7. Kouremenos D.A., Staicos J., "Performance of a small Air-Lift Pump", Int. J. Heat and Fluid Flow, September, (1985), Vol.6, No.3, PP (217-222).
8. Morrison G.L., et al, "Experimental Analysis of the Mechanics Reverse Circulation Air-Lift Pumps", Ind. Eng. Chem. Res., (1987), Vol.26, PP (387-391).
9. نبيل سمير محمود، "دراسة تاثير درجة حرارة الخليط ثنائي الطور على اداء المضخة الفقاعية"، رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، (٢٠٠٠).
10. Saito T., et al., "Studies on Lifting of Manganese Nodules by Air-Lift Pump", Journal of NIRE, February, (1999), Vol.8, No.1.

قائمة الرموز

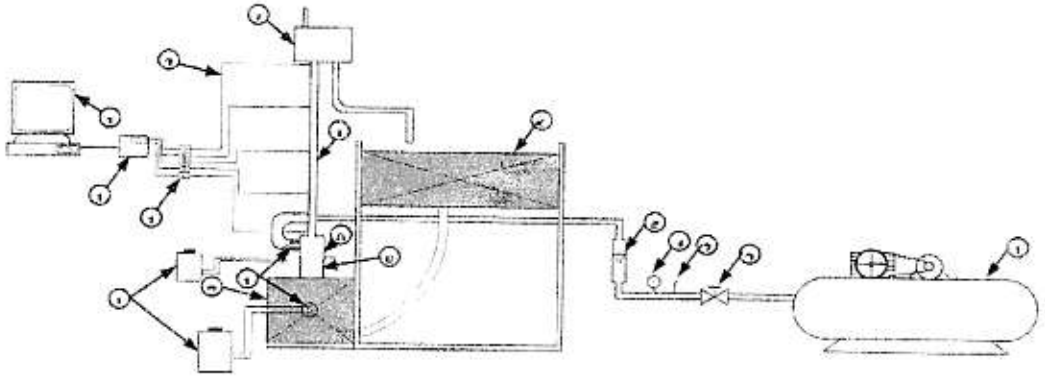
الرمز	تعريفه	وحداته
D	قطر انبوب الرفع	m
f	معامل الاحتكاك	—
Hd	ارتفاع الضخ	m
Hs	ارتفاع عمود السائل فوق فتحة تجهيز الهواء	m
Lp	ارتفاع مضخة الرفع الهوائية المحصور بين فتحة تجهيز الهواء المضغوط والحافة العليا لأنبوب الرفع	m
Q	معدل التدفق الحجمي	m^3/s
s	نسبة الانزلاق	—
S	نسبة الغطس (Hs / Lp)	—
T	درجة الحرارة	^oC



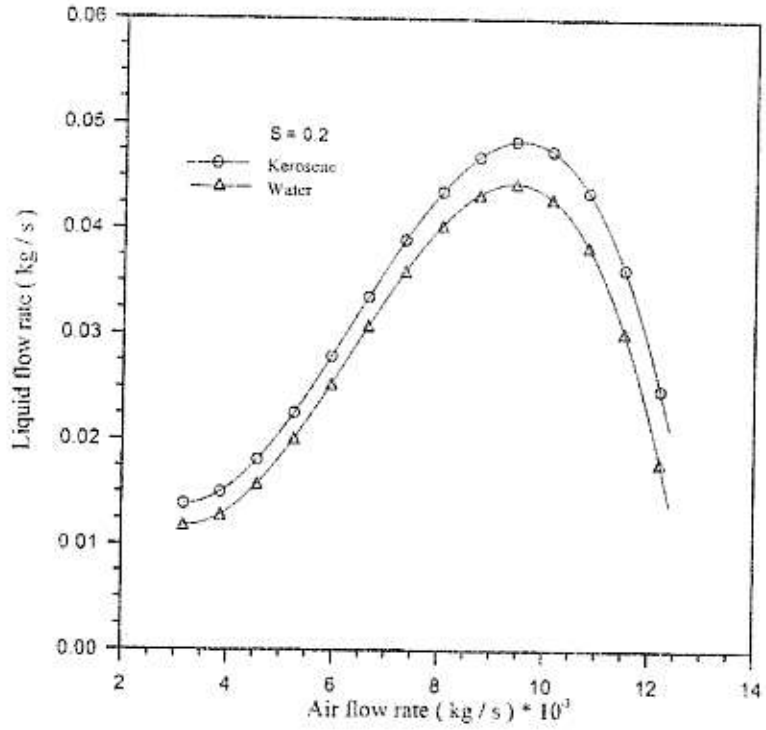
الشكل (1) يوضح مضخة الرفع الهوائية [٩]

جدول أجزاء الجهاز المختبرى المستخدم

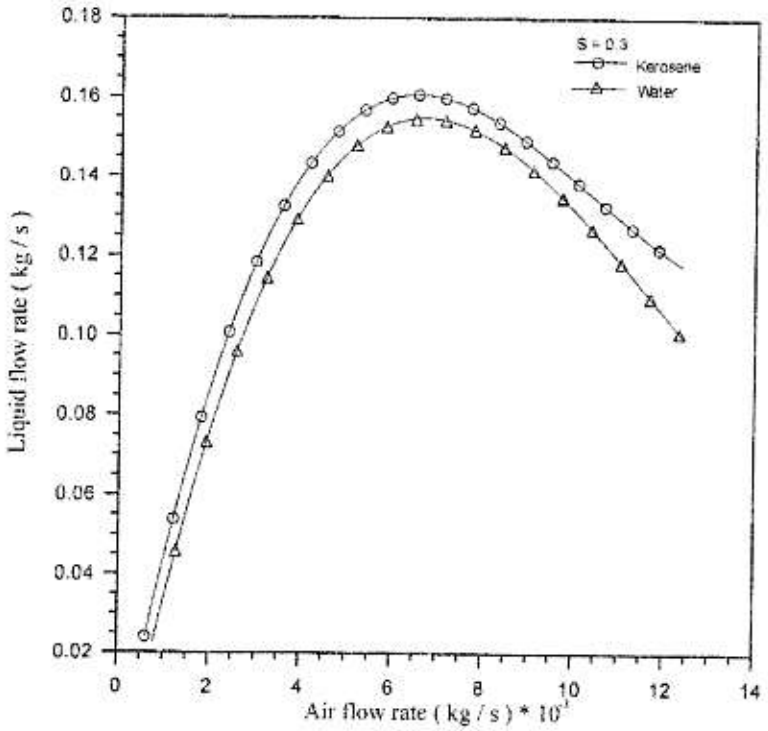
1	COMPRESSOR	9	MIXING CHAMBER
2	DIAPHRAM VALVE	10	LIFT TUBE
3	THERMOCOUPLE	11	SEPARATOR VESSEL
4	BOURDON GAUGE	12	ELECTRIC HEATER
5	ROTAMETER	13	VARIAC
6	UPPER TANK	14	CONECTION
7	LOWER TANK	15	ELECTRONIC BORD
8	SUCTION PIPE	16	COMPUTER



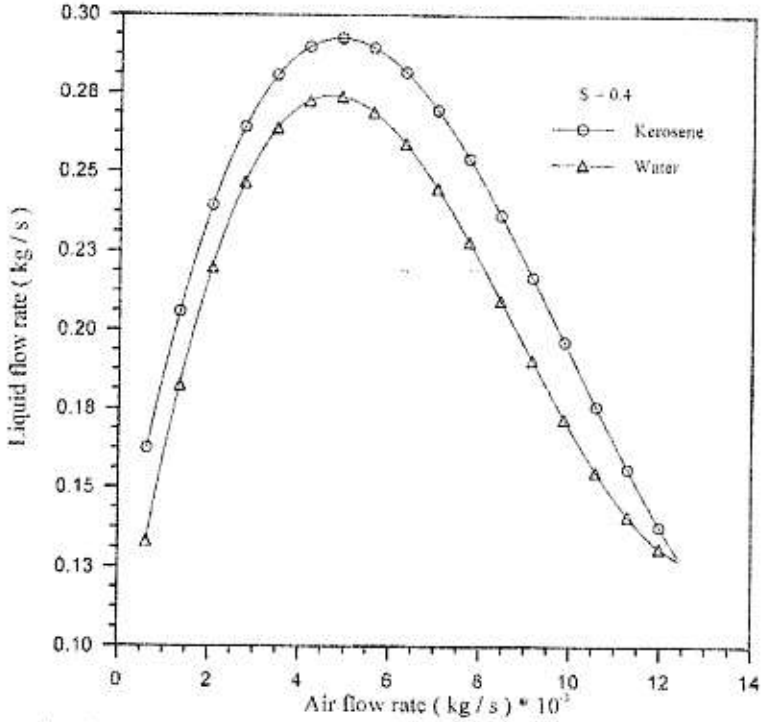
شكل (٢) مخطط الجهاز المختبري



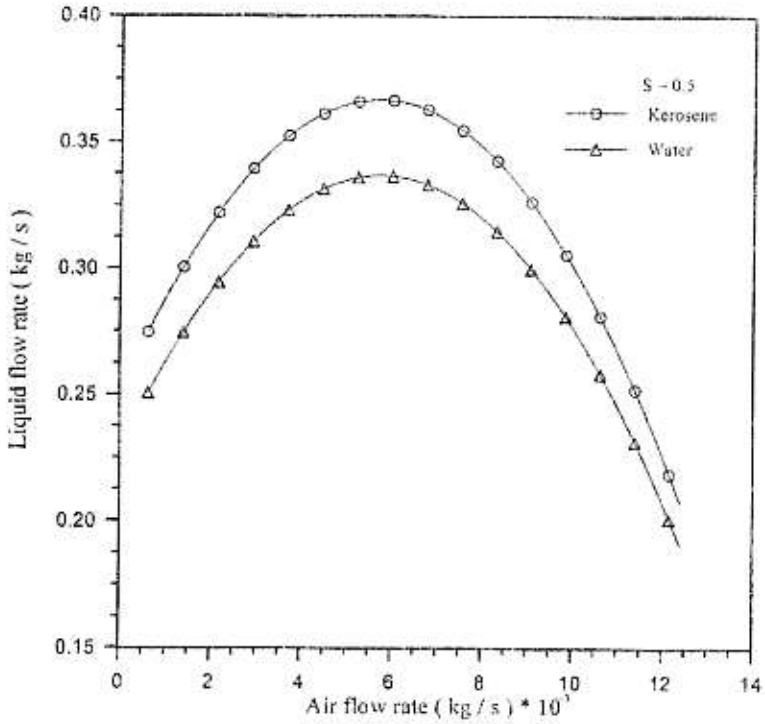
شكل (٣) تأثير كثافة السائل ومعدل تدفق الهواء على معدل الضخ عند نسبة غطس (0.2) ودرجة حرارة ($C^{\circ}25$) لكل من الهواء المجهز والسائل المستخدم



شكل (٤) تأثير كثافة السائل ومعدل تدفق الهواء على معدل الضخ عند نسبة غطس (0.3) ودرجة حرارة ($C^{\circ}25$) لكل من الهواء المجهز والسائل المستخدم



شكل (٥) تأثير كثافة السائل ومعدل تدفق الهواء على معدل الضخ عند نسبة غطس (0.4) ودرجة حرارة ($C^{o}25$) لكل من الهواء المجهز والسائل المستخدم



شكل (٦) تأثير كثافة السائل ومعدل تدفق الهواء على معدل الضخ عند نسبة غطس (0.5) ودرجة حرارة ($C^{o}25$) لكل من الهواء المجهز والسائل المستخدم