

تأثير جريان الهواء في نظام السحب على اداء ضاغطة الهواء الترددية

حقي اسماعيل كاطع*

تاريخ التسليم: 2011/1/10

تاريخ القبول: 2011/6/2

الخلاصة

يهدف البحث الى دراسة تأثير الجريان في نظام السحب على اداء ضاغطة الهواء الترددية , اجريت الدراسة على ضاغطة هواء ترددية ذو اسطوانتين وتعمل بثلاث مراحل والتبريد بين الاسطوانتين هوائي مع استعمال ثلاث انابيب مختلفة بالطول والقطر , حيث تم بناء موديل رياضي لحساب (الضغط , درجة الحرارة , الحجم , الكتلة , الكفاءة) وتم اعتماد امثل طريقة لحل منظومة المعادلات التفاضلية بالتحليل العددي باستخدام طريقة . Rung-Kutta حيث اوضحت النتائج بان استخدام ضاغطة الهواء متعددة المراحل تعطي كفاءة عالية بسبب التبريد الهوائي , ان طول وقطر انبوب السحب وسرعة ضاغطة الهواء لها تأثير على سعة الموجات الضغطية وعلى الضغط النهائي المتولد في حيز الانضغاط مما يسبب زيادة في الكفاءة الحجمية .

Influence of The Air Flow In The Induction System On The Performance Of A Reciprocating Air Compressor

Abstract

The aim of this work is to study the effect of the flow in the induction system on the reciprocating air compressor performance. The study was carried out on the reciprocating air compressor with two cylinders and three stages. The cooling between two cylinders occurs by the air and used three pipes with different length and diameter. A mathematical model is presented to calculate the pressure, temperature, volume, mass and volumetric efficiency. This model depends on the Runge-Kutta method to solve the differential equation system. The result show that when used the multi – stage air compressor increases as result of efficiency air cooling , the length and diameter of the induction pipe and velocity of compressor have a significant influence on the compression wave capacity also the final pressure generated in compression space which caused to increase the volumetric efficiency .

Nomenclature

=	سرعة الصوت		α
=	قطر الاسطوانة	m	D_C
=	مساحة الجريان اللحظية لصمام السحب	m^2	F
=	نسبة الحرارة النوعية		\bar{K}
=	الموصلية الحرارية	w/m.k	K_q
=	ضغط الاسطوانة	bar	P_C
=	Up Stream	bar	P_u
=	معدل انتقال الحرارة	w	\dot{Q}
=	نصف قطر عمود المرفق	m	R_1
=	طول ذراع التوصيل	m	R_2
=	رقم رينولد		R_e
=	ثابت الغاز	J/kg.k	R
=	الشوط	m	S
=	درجة الحرارة	k	T
=	درجة حرارة الجدران	k	T_w
=	درجة حرارة الغاز	k	T_g
=	الزمن	S	t
=	المسافة	m	X
=	ازاحة المكبس اللحظية	m	Z_t
=	الكتلة	kg	m
=	سرعة الغاز	m/s	u
=	حجم الاسطوانة	m^3	V_t
=	حجم الخلوص	m^3	V_C
=	حجم الازاحة	m^3	V_d
=	الكثافة	kg / m^3	ρ
=	كثافة الغاز المنساب	kg / m^3	ρ_0
=	زاوية دوران عمود المرفق	deg	θ_t
=	R2/R1		n
=	عدد الدورات بالدقيقة	rpm	N
=	Pc/Pu		r

1. المقدمة

ان اهمية ضاغطة الهواء التردديه لما لها من استخدامات عديده في مختلف المجالات ومنها منظومات التبريد والتكييف , لذا فقد ازداد اهتمام الباحثين بوضع العديد من الدراسات والبحوث للتعنى بالسلوك الديناميكي للضاغطة الهواء وتوجد سلسله من الدراسات في مجال البحث والتطوير منها . درس ماك (1) التأثير الديناميكي في منظومتي الدخول والتجهيز ذو مرحله واحده وتأثير ضغط ودرجة الحرارة الغاز في انبوب الدخول على الكفاءة الحجمية . درس يوسف

(2) تغيرات الضغط في انبوب الدخول باستخدام طريقة الخصائص للجريان الغير المستقرة لمحرك ذو اسطوانة واحده رباعي الاشواط . درس شورن (3) اطوال انابيب الدخول على منظومة السحب للضاغطة وتأثيرها على الكفاءة الحجمية.

ان الواجب الرئيسي بضاغطة الهواء هو توليد ضغوط نهائية مختلفة وحسب نوع الضاغطة وحجمها وسرعتها وعدد مراحل توليد الضغط ولذلك يعتبر الهواء العنصر الرئيسي لعمل الضاغطة ومن هنا اهتم المهندسون بزيادة وتحسين انسياب كتلة الهواء عبر صمام السحب الى حيز الانضغاط (Compression volume) وبذلك يتم الحصول على افضل قدرة خارجة للضاغطة .

عند تصميم انظمة السحب يجب الوصول الى حد معين وهو ان لا يكون لمنظومة السحب هبوط حاد في الضغط اثناء التصميم مما يؤثر على عملية انسياب كتلة الهواء وكذلك يجب ان يكون التصميم متوافق للحصول على افضل كفاءة حجمية .

من خلال هذه الغاية يجب دراسة الموجات الضغطية التي تحدث في منظومة السحب لانها يمكن ان تعرقل او تساعد على عملية انسياب كتلة الهواء في حيز الانضغاط وبالتالي تؤثر على كفاءة الضاغطة , وشكل الموجات الضغطية يعتمد على نوع تصميم منظومة السحب من خلال شكل وحجم صمام السحب وطول وقطر الانبوب .

تتولد الموجات الضغطية في انبوب السحب عند فتح صمام السحب واثاء دخول شحنة كتلة الهواء في حيز الانضغاط ونتيجة لفرق الضغط بين الاسطوانة والانبوب تتساق كتلة الهواء بطريقة غير مستقرة فتنتقل هذه الموجات في الانبوب وترتد عند وجود محددات معينة كالتضييق (Restriction) والمتمثلة بفتحة الصمام او عند وجود تقاطع الانابيب .

2- التحليل النظري Theoretical Analysis

ان ضاغطة الهواء الترددية المستخدمة في البحث هي من نوع (V Type) وتحتوي على اسطوانتين والزواوية بينهما (90) وتعمل بثلاث مراحل لتوليد الضغط النهائي (150 bar) والسرعة مختلفة (1000,2000,3000 rpm) والمرحلة الاولى والثانية لتوليد الضغط تتم في الاسطوانة الاولى والمرحلة الثالثة لتوليد الضغط تتم في الاسطوانة الثانية كما موضح في الشكل رقم (1) . تم حل النموذج الرياضي باستخدام طريقة Runge-Kutla للحد الرابع وبرنامج فورتران .

2-1 حسابات الاسطوانة Cylinder Calculation

عند فتح صمام السحب يكون اتجاه الغاز من الانبوب الى حيز الانضغاط ونتيجة الفرق الضغط بين حيز الانضغاط والانبوب سوف تتولد موجات ضغطية في الانبوب وهذه الموجات تنتقل خلال الانبوب وتتغير في كل لحظة والتحليل هذه الموجات لابد من حساب تغير الضغط ودرجة الحرارة في حيز الانضغاط والجدول رقم (1) يبين الابعاد الهندسية لضاغطة الهواء الترددية المستخدمة في البحث ولسرعة مختلفة (1000,2000,3000 rpm) .

2-1-1 حسابات الشوط Stroke Calculation

الشوط هو الازاحة التي يتحرك بها المكبس من النقطة الميتة السفلى (BDC) الى النقطة الميتة العليا (TDC) وتحسب الازاحة اللحظية من المعادلة الاتية [4] .

حيث تمثل (Fsr) المساحة السطحية
لجدران الاسطوانة + مساحة سطح المكبس
+ مساحة غطاء الاسطوانة.
2-1-4 حسابات درجة الحرارة
Temperature Calculation

تحسب درجة الحرارة في حيز الانضغاط من
المعادلة الآتية [8]

$$T_c = \frac{P V_c}{R M_c}$$

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{1}{R M_c} \left[\alpha_{os}^2 \left(\frac{dm}{dt} \right)_s - \alpha_c^2 \left(\frac{dm}{dt} \right)_d + \right. \\ \left. (K-1) \frac{dT_c}{dt} - (K-1) P \frac{dV_c}{dt} - \frac{T_c}{M_c} \left\{ \left(\frac{dm}{dt} \right)_s - \left(\frac{dm}{dt} \right)_d \right\} \right] \quad (6)$$

2-2 حسابات الانابيب Pipe Calculation

ان جريان الغاز في انبوب السحب يكون
جريان أحادي البعد وغير مستقر ومضطرب
وتحسب الاستمرارية من المعادلة الآتية
[9]

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial X} = - \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (7)$$

ويحسب الزخم من المعادلة الآتية .

$$- \frac{\partial P}{\partial X} = \frac{Du}{dt} \quad (8)$$

$$\frac{Du}{Dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial X} \quad (9)$$

وتم اختيار ثلاثة انواع من الانابيب مختلفة
في الطول والقطر وكما موضح في الجدول
رقم (2)

والحدود المستخدمة في البحث هي حد
السطونة , صمام السحب , انبوب الدخول.

$$Z(t) = R_1 [1 - \cos \theta(t) + n - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta(t)}] \quad (1)$$

2-1-2 حسابات الحجم Volume Calculation

يحسب حجم الاسطوانة (حيز الانضغاط)
من المعادلة الآتية [5]

$$V(t) = V_c + V_d$$

$$V(t) = V_c + \frac{\pi}{4} D^2 \dots Z(t)$$

$$V(t) = V_c + \frac{\pi}{4} D^2 R_1 [1 - \cos \theta(t) + n - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta(t)}] \quad (2)$$

ويحسب معدل التغير في الحجم من المعادلة
الآتية .

$$\frac{dV_t}{dt} = \frac{\pi}{4} D^2 R_1 \left[\frac{\sin \theta(t) + \frac{1}{2}}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \theta(t)}} \right] \quad (3)$$

2-1-3 حسابات الضغط pressure Calculation

يحسب ضغط الاسطوانة من المعادلة الآتية
[6]

$$\frac{dP_c}{dt} = \frac{1}{V_c} \left\{ 2 \left(\frac{dm}{dt} \right)_s - \alpha_c^2 \left(\frac{dm}{dt} \right)_d - K_{TC} \frac{dV_c}{dt} + (K-1) \frac{dq}{dt} \right\} \quad (4)$$

حيث (C) تمثل رمز الاسطوانة

(S) دخول الغاز

(d) خروج الغاز

ويحسب معدل انتقال الحرارة من علاقة)
[7] (Annand

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\bar{a} \text{Re}^{\bar{b}}}{Dc} \cdot K_q \cdot Fsr (T_w - T_g) \dots (5)$$

ونلاحظ من ذلك وجود اختلاف واضح في قيمة الضغط النهائي لكل مرحلة من المراحل الضاغطة حيث يزداد الضغط بزيادة سرعة الضاغطة وهذا يعود إلى تزايد الضغط في حيز الانضغاط خلال شوط الانضغاط ويسبب سرعة الكباس

3-2 درجة الحرارة في حيز الانضغاط

تبين الأشكال (6,7,8) تغير درجة الحرارة في حيز الانضغاط مع زاوية عمود المرفق ولسرعة مختلفة لكافة مراحل الضاغطة، نلاحظ من خلال بدء عملية الانضغاط ودخول شحنة الهواء إلى حيز الانضغاط تكون بدرجة حرارة (298 K) وعند حركة المكبس أثناء عملية الانضغاط والوصول إلى (TDC) ترتفع درجة الحرارة الشحنة بسبب ارتفاع الضغط وبعدها تعود تدريجياً إلى درجة حرارة الابتدائية تقريباً قبل وصول شحنة الهواء إلى المرحلة الثانية والبدء بعملية الانضغاط مره أخرى ويعود السبب في ذلك هو وجود التبريد الهوائي بين المراحل لتقليل البليان ولزوجة الزيت في حلقات المكبس .

3-3 الضغط في الانبواب

تبين الأشكال (9,10,11) تغيرات الضغط عند نهاية انبواب السحب القريبة من حيز الانضغاط مع زاوية عمود المرفق ولسرعة مختلفة ونلاحظ من ذلك تغير الموجات وذلك بسبب اختلاف الضغط بين انبواب وحيز الانضغاط وهذا الاختلاف يسبب سهولة دخول شحنة الهواء إلى حيز الانضغاط .

3-4 كتلة شحنة الهواء المناسبة

يبين الشكل (12) كتلة شحنة الهواء المناسبة إلى حيز الانضغاط ولسرعة مختلفة ونلاحظ من المنحنيات وجود تذبذب في كتلة شحنة الهواء الجارية وهذا التذبذب ناتج عن حركة صمام السحب وعن سهولة سرعة مكبس الضاغطة .

3-5 الكفاءة الحجمية

تبين الأشكال (13, 14) تأثير طول وقطر انبواب السحب وازاحة الصمام على الكفاءة الحجمية ونلاحظ من ذلك .

1- عند السرعة الواطئة للضاغطة تكون فترة انسياب الهواء إلى حيز الانضغاط

2-3 حسابات الصمام Valve Calculation

تحسب الكتلة المناسبة إلى حيز الانضغاط عبر صمام السحب من المعادلة الآتية [10].

$$m = \rho v \quad \dots(10)$$

2-4 حسابات الكفاءة الحجمية Volumetric Efficiency

تمثل الكفاءة النسبية بين كتلة الهواء الفعلية والنظرية وكذلك هي تعبر عن تأثير حجم الخلوص على كمية الهواء المضغوط وتحسب من المعادلة الآتية [11].

$$\eta_r = \frac{m_{act}}{m_{th}} \dots(11)$$

$$m_{th} = \frac{P.V}{R.T} \dots(12)$$

$$m_{act} = m_{th} - \sum_{i=1}^n m \dots(13)$$

3- النتائج والمناقشة Results and Discussion

تضمن البحث دراسة خواص الجريان (الضغط، درجة الحرارة، الحجم، الكتلة) للاسطوانة والانبواب منظومة السحب على ضاغطة هواء ترددية واحدة تعمل بثلاث مراحل والسرعة مختلفة (1000,2000,3000, rpm) وتمت المقارنه مع الباحث محمد عامر لتثبت من صحة النتائج (12). وكانت نسبة الخطا المقارن 1.5% وهذا يتفق مع نتائج البحث المقارن .

3-1 الضغط في حيز الانضغاط

تبين الأشكال (3,4,5) تغيرات الضغط في حيز الانضغاط مع زاوية عمود المرفق ولسرعة مختلفة لكافة المراحل الضاغطة

- 3- ان يكون العمل اللازم لكل مرحلة مساوياً للمراحل الاخرى .
- b- ان طول وقطر انبوب السحب وسرعة الضاغطة لها تأثير على سعة الموجات الضغطية وعلى الضغط النهائي المتولد في حيز الانضغاط وهذا له تأثير كبير على زيادة الكفاءة الحجمية للضاغطة.
- c- تزداد الكفاءة الحجمية عند السرعة الواطء للضاغطة .
- d- ان زيادة في طول انبوب السحب يسبب زيادة في الكفاءة الحجمية .

References

- [1] Mak.H."process consideration inreciprocating compression"Hydrocarbon v66 .N10.pp.41,1987.
- [2] .Yousif .S.ph."Simulation of asingle cylinder engine including intake and exhaust system "Ms.c.thesis-University of Technology,1989.
- [3] Schorn.N."Influence of various compressor inlet designs on compressor performance "Conference on Thermo-and fluid dynamics processes indiesel engine,2004.
- [4] Lorenzo.Robert"Modeling of oil retention in the suction line and evaporator of air-conditioning systems"HVAG&R research journals,V.12,pp.35-36,2006.
- [5] V.cherkassky."Pumps-Fans-Compressors"^{3rd} edition,Moscow,2000
- [6] Shengyi. Li." Optimization for pneumatic systems air supply"Applied mechanics and materials, V.34,pp.836-840,2010
- [7] Annand.w.J.D "Heat

- طويلة فتزداد كمية شحنة الهواء الى حيز الانضغاط وبذلك تزداد الكفاءة الحجمية
- 2- لا تدل الكفاءة الحجمية الظاهرية على كمية الهواء الفعلية التي تنساب الى حيز الانضغاط وذلك بسبب حالة الهواء اثناء شوط السحب التي تختلف عن حالته قبل الدخول من حيث درجة الحرارة والضغط وكذلك التهريب الذي يحصل من جوانب المكبس والذي لا يمكن تجنبه ولذا فالكفاءة الحجمية الفعلية للضاغطة اقل من الكفاءة الحجمية الظاهرية للاسباب التالية .
- a- ارتفاع درجة حرارة الهواء الموجود في حيز الانضغاط بسبب تماسه مع جدران حيز الانضغاط
- b- انخفاض ضغط الامتصاص عن الضغط الجوي الفعلي يسبب العوائق الموجودة عند صمام السحب .
- c- حدوث (Blow-By) من جوانب المكبس
- d- دوران الضاغطة بسرعة عالية .
- 3- عند تثبيت كل من طول الانبوب والازاحة فان الزيادة في الكفاءة الحجمية تكون كبيرة مع قطر الانبوب الاكبر عند السرعة العالية , ولكن في السرعة الواطئة تكون الزيادة في الكفاءة مع القطر الاصغر .
- 4- عند تثبيت كل من قطر الانبوب والازاحة , نلاحظ زيادة في الكفاءة الحجمية مع طول الانبوب .
- ### 4- الاستنتاجات Conclusions
- a- نستنتج من ذلك انه يجب ان تتوفر الشروط التالية من اجل الحصول على افضل كفاءة ملائمة وتقديم اقل عمل ممكن لتدوير ضاغطة الهواء وهي .
- 1- ان يبرد الهواء بين المراحل الثلاثة الى درجة حرارته الابتدائية قدر الامكان .
- 2- ان تكون النسبة الضغطية في كل مرحلة من مراحل الضاغطة مساوية للمراحل الاخرى

systems,IEEE control systems
society,v.3 ,pp.465-473,2007

[11]Micheal
.A.Boles,"Thermodynamics as
engineering approach,5ed,
published by mc .grew .hill,2006

[12] محمد عامر عبد المجيد " الجريان
الغير مستقر في منظومات الضاغط
الترددي.
اطروحة ماجستير الجامعة التكنولوجية
(1995)

transfer in the cylinder of
reciprocating internal
combustion engines"Proc.
Inst,Mech,Engrs.177,pp.973-
980,1963.

[8]Evans.D.Ward,"the reduction
of turbocharger whoosh noise for
Diesel power " 8th coference
,imech.e. 2006

[9] Benson.R.S."Thermodynamic
and gas dynamic of internal
combustion engine
,V.2,oxford,1986

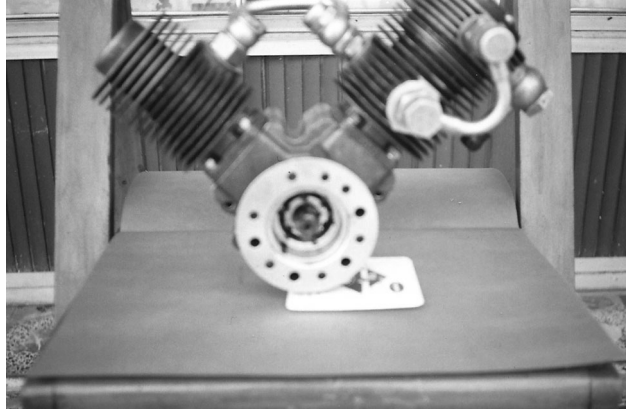
[10]Stefano. Poulou.
A.G,"Performance limitation of
air flow control in power
autonomous fuel cell

جدول رقم (1)

Open Cylinder	Dimension	Closed Cylinder	Dimension
Radius of Crank	18 mm	Radius of Crank	18 mm
Radius of Piston	23 mm 20 mm	Radius of Piston	17 mm 19 mm
Bore Cylinder	46 mm 40 mm	Bore Cylinder	35 mm 38 mm
Cylinder Length	131 mm	Cylinder Length	109 mm
Length of connecting rod	68.615 mm	Length of connecting rod	68.095 mm
The Distance between the surface piston and cover	1.2 – 1.7 mm		

جدول رقم (2) ابعاد الانابيب حيث تمثل (B) في الجدول قطر الاسطوانة،
=L طول الانبوب وD= قطر الانبوب

Pipe.No	L mm	S	L/S	D mm	B mm	D/b
1	800	131	6.1	40	46	0.869
2	600	131	4.5	30	46	0.652
3	400	131	3	20	46	0.434

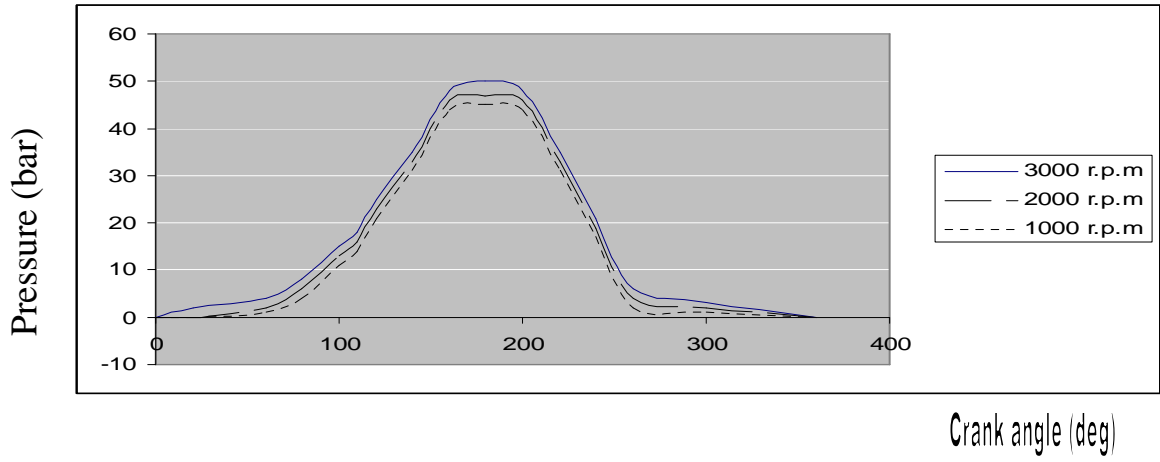


شكل رقم -1-
ضاغطة الهواء الترددية

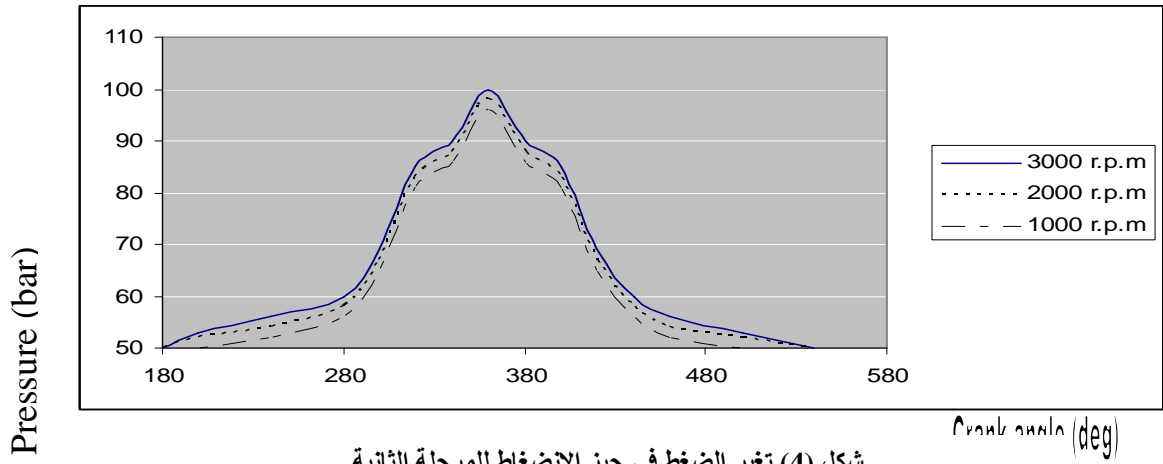
والاسطوانتين مختلفين بالحجم نتيجة عدم تساوي حجم المكابس كما موضح في الشكل رقم -2-.



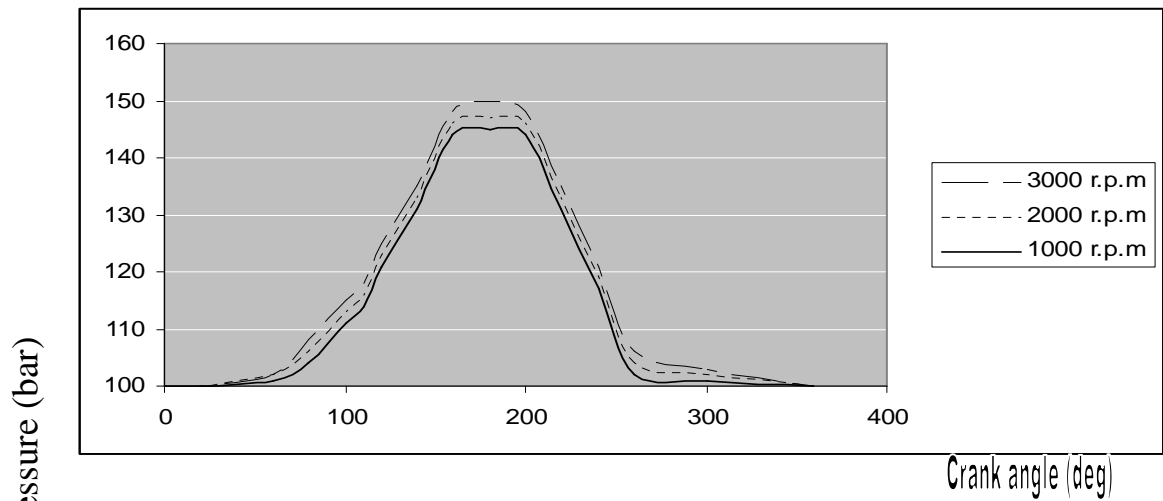
شكل رقم -2-
المكابس



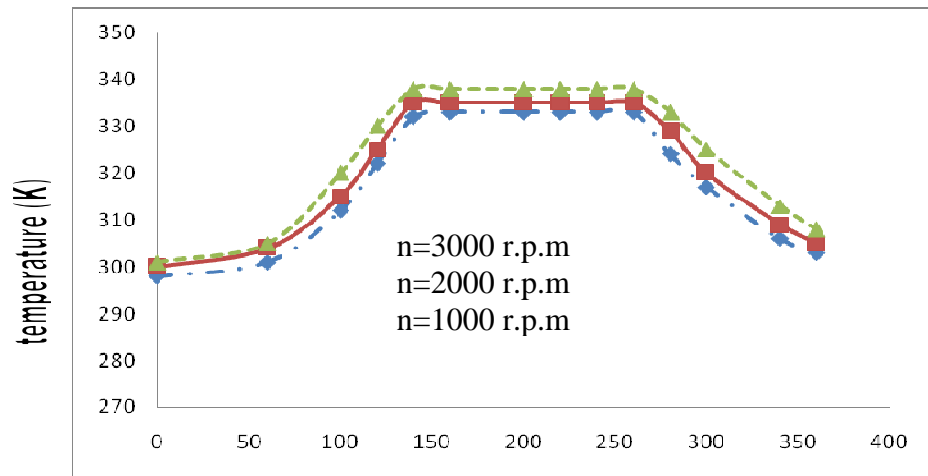
شكل (3) تغير الضغط في حيز الانضغاط للمرحلة الأولى



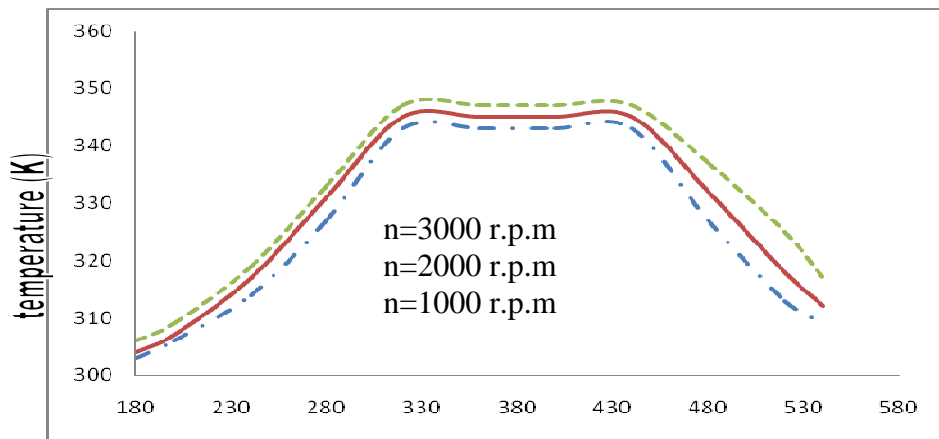
شكل (4) تغير الضغط في حيز الانضغاط للمرحلة الثانية



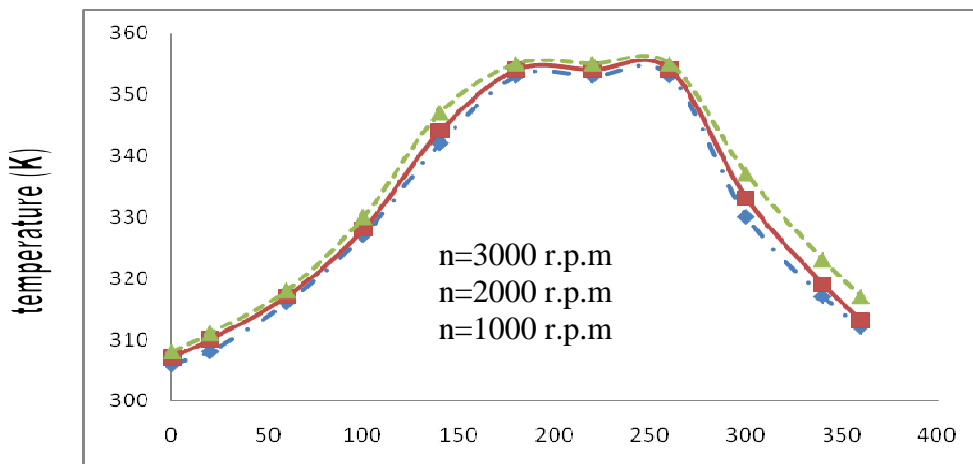
شكل (5) تغير الضغط في حيز الانضغاط للمرحلة الثالثة



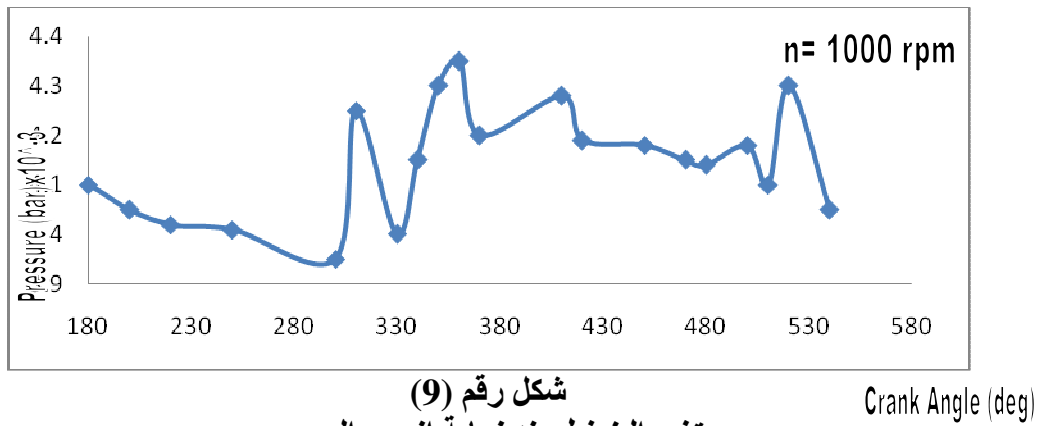
شكل رقم (6) درجة الحرارة في حيز الانضغاط للمرحلة الأولى Crank angle (deg)



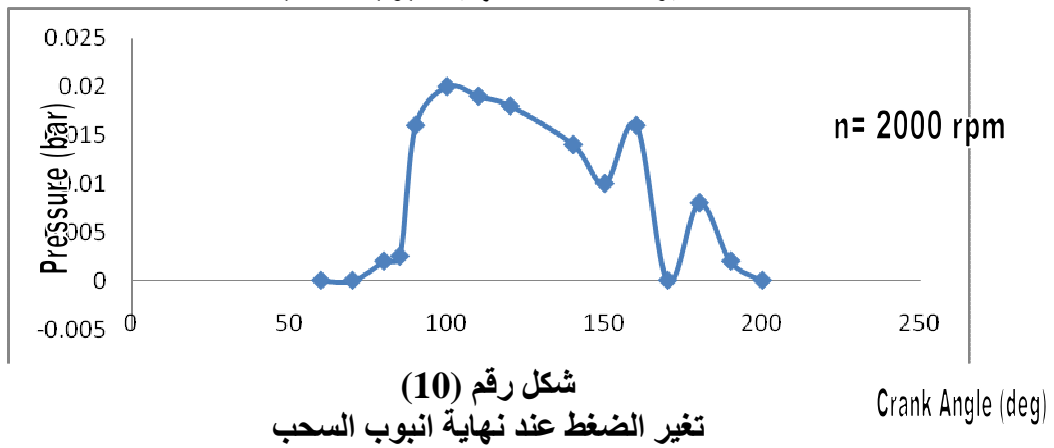
شكل رقم (7) درجة الحرارة في حيز الانضغاط للمرحلة الثانية Crank angle (deg)



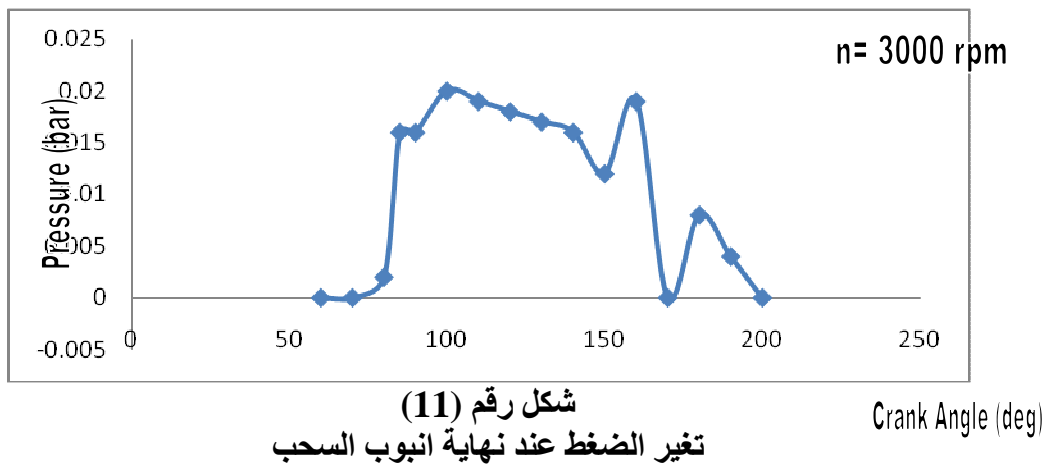
شكل رقم (8) درجة الحرارة في حيز الانضغاط للمرحلة الثالثة Crank angle (deg)



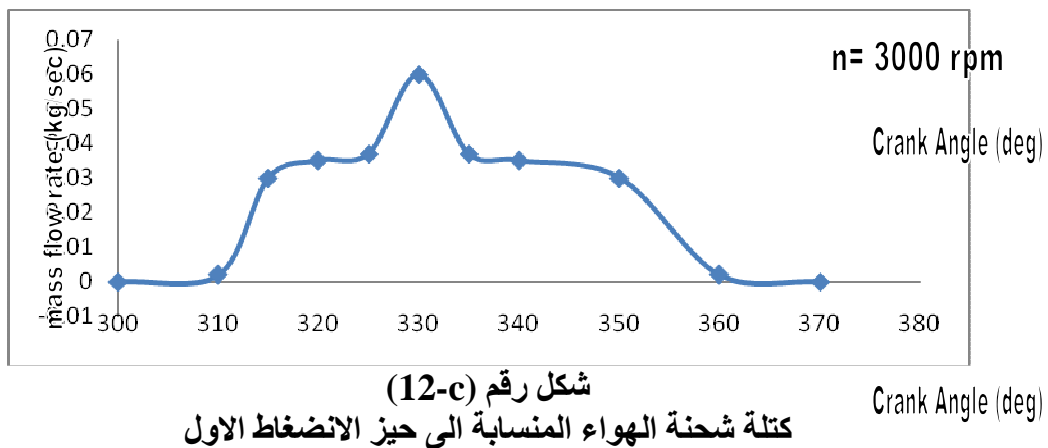
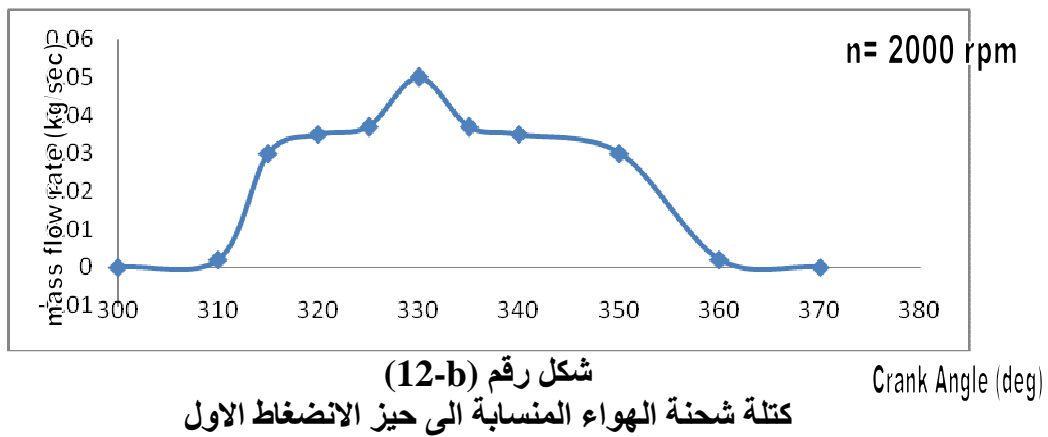
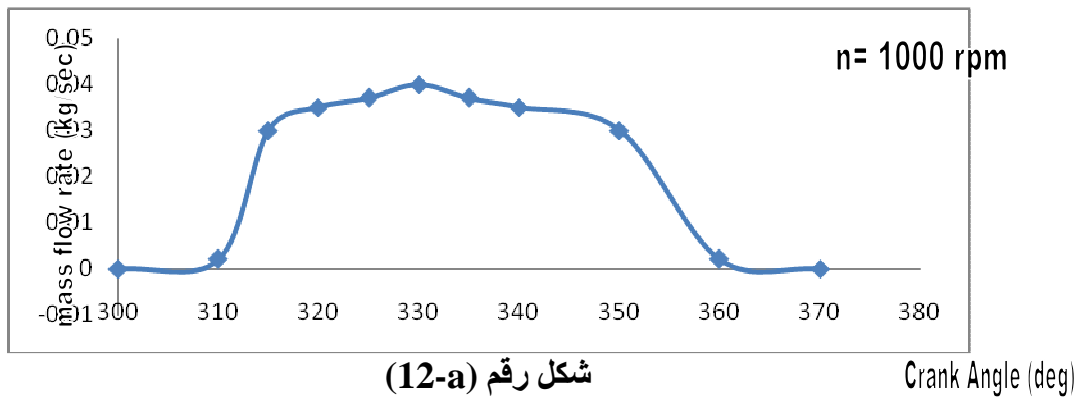
شكل رقم (9)
تغير الضغط عند نهاية انبوب السحب

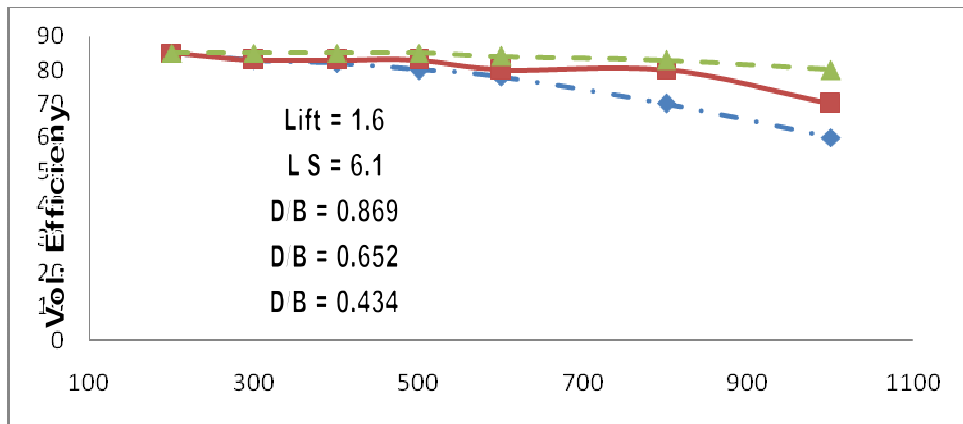


شكل رقم (10)
تغير الضغط عند نهاية انبوب السحب



شكل رقم (11)
تغير الضغط عند نهاية انبوب السحب

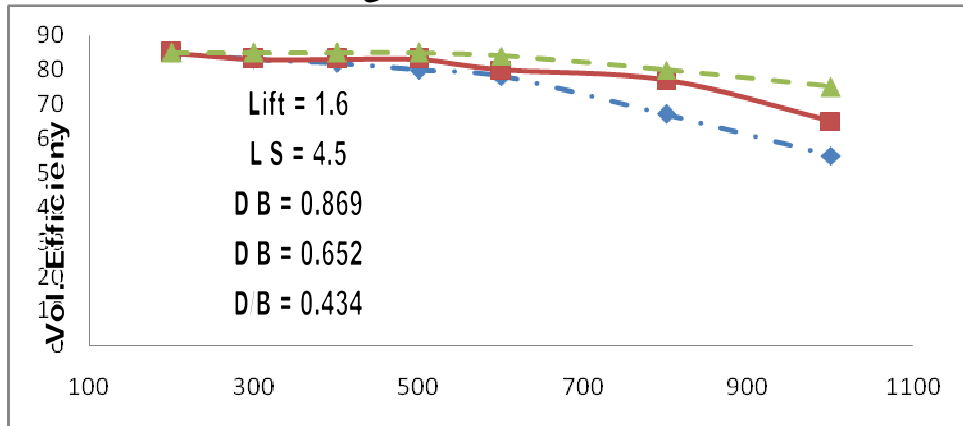




شكل رقم (13-a)

speed (rpm)

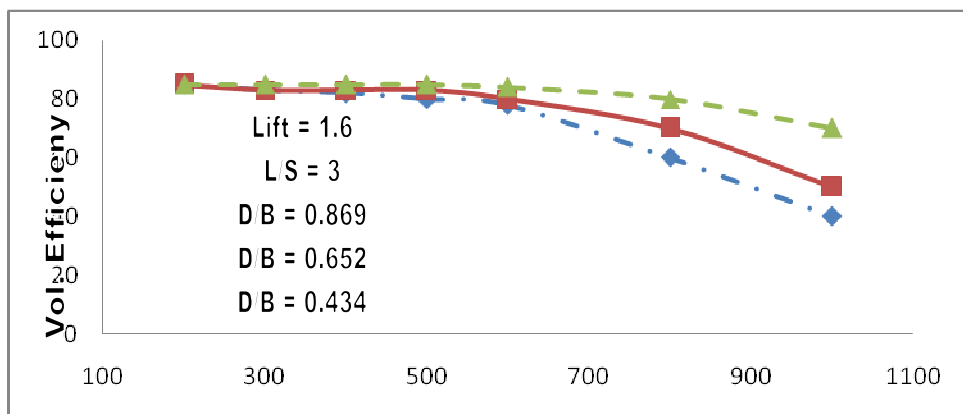
تأثير قطر الانبوب الدخول وطوله على الكفاءة الحجمية



شكل رقم (13-b)

speed (rpm)

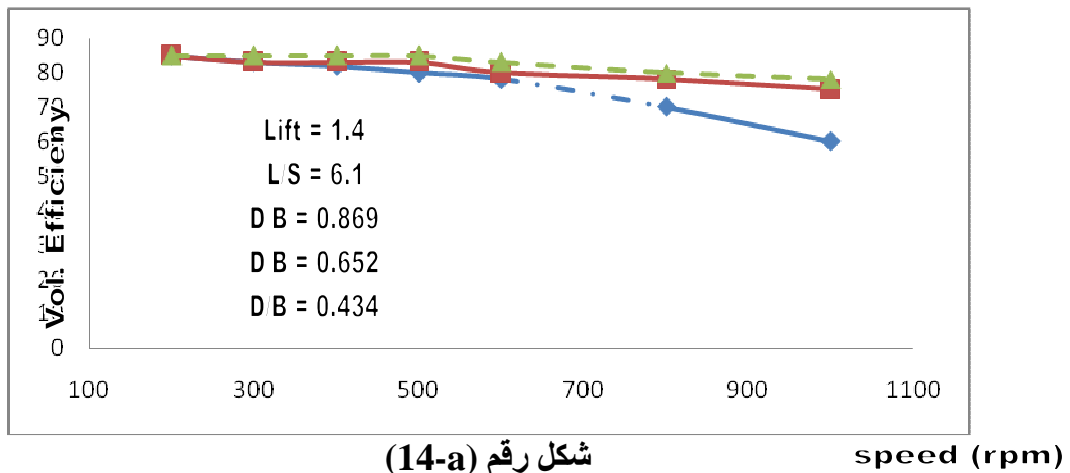
تأثير قطر الانبوب الدخول وطوله على الكفاءة الحجمية



شكل رقم (13-c)

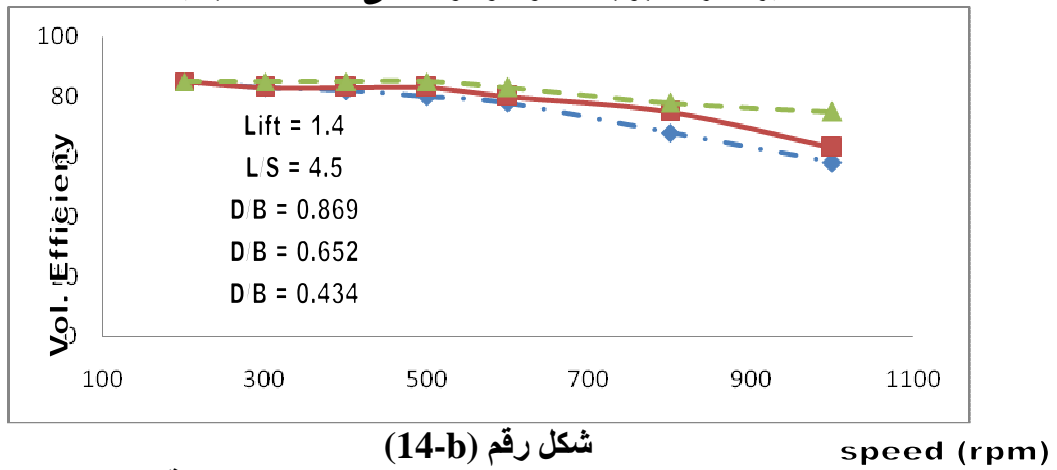
speed (rpm)

تأثير قطر الانبوب الدخول وطوله على الكفاءة الحجمية



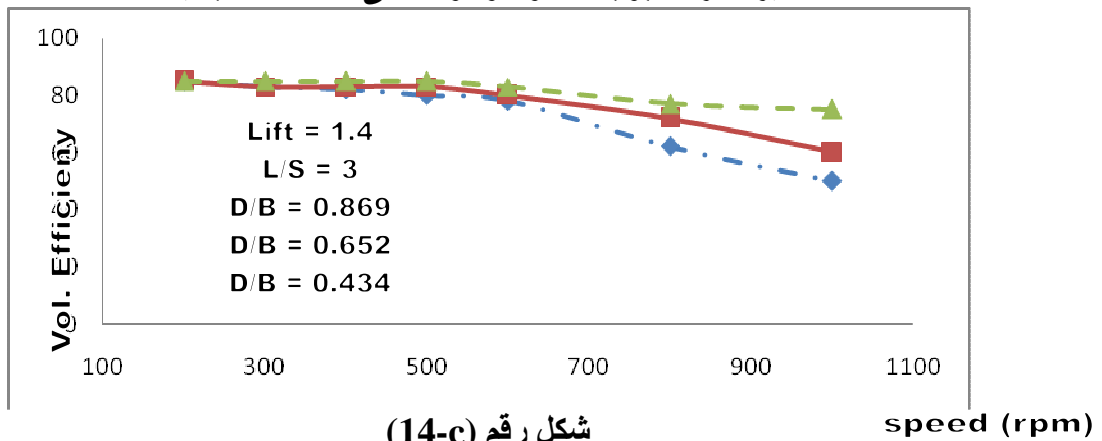
شكل رقم (14-a)

تأثير قطر الانبوب الدخول وطوله على الكفاءة الحجمية



شكل رقم (14-b)

تأثير قطر الانبوب الدخول وطوله على الكفاءة الحجمية



شكل رقم (14-c)

تأثير قطر الانبوب الدخول وطوله على الكفاءة الحجمية