تأثير تغيير قطر الأنبوب الداخلي على أداء أنبوب دوامي ذو جريان باتجاه واحد

أسعد توما العمران   رمزي روفائيل ابراهيم   و   شذى شريف نصيف

تاريخ الاستلام:2006/9/17

تاريخ القبول:2008/6/5

الخلاصة

أنجزت العديد من المحاولات العملية للوصول إلى التصميم الامثـل للأنبـوب الـدوامي ذو الجريان باتجاه واحد (Uniflow) حيث يستخدم كجهاز تبريد وتسخين بكفـاءة عاليـة . كـذلك أجريت محاولات عديدة عمليا للوصول إلى تقليل حجم الأنبوب الدوامي ذو الجريان باتجاه واحد وذلك بطاقة فصل عالية . أنجزت التجارب من خلال بناء جهاز متكامل للأنابيب الدوامة ذات الجريان باتجاه واحد (Uniflow) المستقيمة والمنفرجة ، صمم وصنع خصيصا لهـذه الدراسـة حيث غطى جميع التجارب . أجريت التجارب العمليه على الأنبوب الدوامي بثبـوت نسـبة طول الأنبوب إلى قطره(L/D) عند(20) لخمسة أنابيب ، أربعة منها مستقيمة أقطارها الداخليـة (D=30,20,15and10mm) والاخير أنبوب منفرج بزاوية($\theta = 1.72°$) وبطول (350mm) وزاوية المخروط ($\theta = 30°$) وبهذا تم دراسة أداء فصل الطاقة لخمسة أنـواع مـن الأنابيـب الدوامة ذات الجريان باتجاه واحد .

بينت النتائج العملية تأثير واضح للأنبوب الـدوامي (D=20mm,L=400mm) علـى أداء فصل للطاقة عند قطر الصمام المخروطي (dc=12mm)حيث ان اوطى درجه حـرارة لتيـار الهواء البارد وصلت إلى (2.4°C) عند نسبة كتلة الهواء البارد (Y=0.313) وأعلـى درجـه حرارة لتيار الهواء الساخن وصلت إلى (47.5 °C) عند (Y=0.812) وهذا عند ثبوت درجـة حرارة الهواء الداخل عند(T_i=33 °C) .

تـبين من النـتائج العملـية ان الانبوب الدوامي ذو الجريان باتجاه واحد يعطي كفاءة ايزونتروبيه ومعامل أداء يتناسبان طرديا مع الضغط المطلق للهواء الداخل ضمن المديات (P_{iabs}=2-6) وهذا عكس ما يحدث في الأنبوب الدوامي متعاكس الجريان حيث وصلت الكفاءة الايزونتروبيه لأفضـل أنـبوب دوامـي عند (D=20mm, L=400mm) إلـى (η_{ise}=24%) عنـد (Y=0.753) ومعامـل الأداء إلـى (COP=0.14) عند نفس(Y) .وكذلك بينت النتائج العملية ان الانبوب الدوامي ذو جريان باتجاه واحد يعطي سعة التثليج وكفاءة فصل الطاقة يتناسبان طرديا مع الضغط المطلق للهواء الداخل ضمن المديات (P_{iabs}=2-6) وهذا يتطابق مع الأنبوب الدوامي متعاكس الجريان حيث وصلت سعـة التثليج للانبوب الدوامي اعلاه الى (Q_r=1385Watt) عند(Y=0.704) وكفاءة فصل الطاقة إلى(η_e=34 %) عند (Y=0.323).

The effect of changing internal tube diameter on the performance of uniflow vortex tube

Abstract

In this present work, the optimum design and performance of the uniflow vortex tube used as a cooling and heating device of high efficiency is investigated experimentally. Great attempts to reach minimizing the uniflow vortex tube size with high separation energy are investigated.

* الكلية التقنية\بغداد

** معهد التكنولوجيا\بغداد

*** الجامعة التكنولوجية\بغداد

https://doi.org/10.30684/ etj.26.12.14

University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758

The experimental investigation was carried out on a vortex tube rig especially designed for the present study covering all tests. Experiments were carried out on the vortex tube by fixing (L/D) at (20) for five tubes ,four of them are straight with diameters (30,20,15and 10) and the last is diverge tube with angle(θ=1.72°) and length(350mm),the cone angle is (θ= 30°),consequently the study of the energy separation performance of five uniflow vortex tubes wer carried out.

The experimental results shows that the pronounced influence of the uniflow vortex tube (D=20mm, L=400mm) on the energy separation performance at cone valve diameter (dc=12mm), i.e the highest temperature of the hot air stream and the lowest temperature. The cold air stream reaches (47.5C^o) at (Y=0.812) & (2.4C^o) at (Y=0.313) respectively at the inlet air temperature (T_i=33C^o).

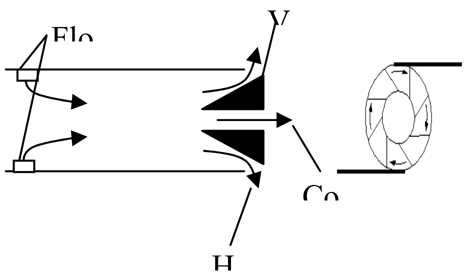
The results of the uniflow vortex tube shows that increasing the isentropic efficiency & coefficient of performance with increasing inlet air pressure within the range (Pi_{abs} = 2-6 bar) which reaches η_{ise}= 24% at Y=0.753 & COP=0.14 at the same Y. Also the result shows that refrigeration capacity & efficiency of the energy separation increasing with increase inlet air pressure & reaches Q_r=1385 watt at Y=0.704 & η_e =34% at Y=0.323.

- المقدمة

الأنبوب الدوامي جهاز يستخدم لفصل الهواء إلى تيارين احديهما ساخن والأخر بارد حيث الهواء المضغوط الجاف الداخل للجهاز تزداد سرعته عن طريق المنفث المثبت بصورة مماسية بالقرب من فوهة خروج الهواء البارد والذي يخرج من خلالها جزء من الهواء الذي يكون بارد اما الجزء الأخر- للهواء فيكون ساخنا ويخرج من فوهة خروج الهواء في النهاية البعيدة من فتحة دخول الهواء المضغوط حيث يوجد صمام مخروطي يتحكم بنسبة معدل الجريان ألكتلي لتياري الهواء البارد والساخن والذي مجموعهما يساوي كمية الهواء الداخل [1] وهذا النوع من الأنبوب الدوامي يسمى بالجريان المتعاكس (counter – flow) لان الهواء الساخن يخرج من جهة والهواء البارد من جهة أخرى. النوع الثاني من الأنبوب الدوامي هو ما يعرف بالجريان باتجاه واحد (uniflow) حيث يخرج الهواء البارد والساخن من جهة واحدة وتكون حركتهما داخل الأنبوب باتجاه واحد ويتم ذلك نتيجة ظاهرة فصل الطاقة حيث يتولد التيارين من الهواء المضغوط الجاف الذي تزداد سرعته عن طريق المنفث ويتحرك التيارين باتجاه واحد ويخرجان من جهة واحدة حيث يخرج الهواء البارد من الجزء النافذ للصمام المخروطي والهواء الساخن الصمام المخروطي ويخرج من الفوهة المخصصة للهواء الساخن.

يبين الشكل (1) أنبوب دوامي ذو جريان متوازي يدخل الهواء إلى الأنبوب الذي يحتوي على فتحات من كلا جانبيه و يكون دخوله بشكل حلزوني مما يسبب تولد تيارين لجريان الهواء بشكل واضح يجريان باتجاه واحد و يخرجان من جهة واحدة حيث يخرج الهواء البارد من الفتحة النافذة للصمام المخروطي و الهواء الساخن من الفتحة الواقعة في المنطقة ذاتها [2] .

شكل (1) أنبوب دوامي ذو جريان باتجاه واحد(Uniflow)



في عام(1947) قام الباحث (Hilsch) [3] بتصميم و بناء أنبوب دوامي تم فيه خنق الهواء لخفض درجة حرارته . أن أهم المتغيرات للتركيب الإنشائي للأنبوب الدوامي تمت دراستها عملياً لعدد مختلف من أحجام الأنابيب و تحت ظروف عمل متغيرة . أستنتج الباحث أن الأنابيب ذات الأحجام الكبيرة تعطي نتائج أفضل عند أعلى نسبة ضغط معطاة و أن فتحة خروج الهواء البارد يجب أن تكون قريبة من المنافث (Nozzles) قدر المستطاع و يجب أن تتراوح ما بين (O.45D) إلى (O.6D)

*الكلية التقنية\بغداد
**معهد التكنولوجيا\بغداد
*** الجامعة التكنولوجية\بغداد

للحصول على أعلى هبوط لـدرجات الحـرارة . كذلك بين أن قطر فتحة المنافث يجب أن يسـاو(O.25D) وأن الصمام المنظم يجب أن يكون على بعد (50 D) من المنافث وأن أي نقطة تقع خارج هذه الأبعاد تعطي كفاءة أقل .

عام (1959) قـام الباحـــث (Lay) [4] بأجراء اختبارات على أنبوب دوامي متـوازي الجريان وبمدى ضغوط تراوحت مابين(38Kpa) الى(238Kpa) لدراسة كل من الضغط , درجـة الحرارة , السرعة كدالة لنصـف القطـر وموقـع الجريان للهواء (Z) . الا انه لم يستطيع أن يحصل على نتائج للانبوب باقطار أقل من (0.8R) كما ان النتائج التي حصل عليها كانت مشابهة للانبوب ذا الجريان المتعاكس .

عام (1960) اعد الباحثان (Deissler and Pertmutter) [5] دراسة نظرية تضمنت تحلـيلاً رياضيا يصف الجريان داخل الانبـوب الـدوامي

عام (1966) وجد الباحـث (Gulyaev) [6] أن التوسع المخروطي للانبوب يعطي تحسين فـي الاداء الحراري ووجد أن أقـل طـول للانبـوب الدوامي يصل الى (13) مرة من قطر الانبوب .

عام (1983) قام الباحثان (Lemesh and Scnchuk) [7] بدراسة تاثير درجة حرارة الهواء الداخل على فرق درجات الحرارة بين الهواء البارد والحار للانبوب الـدوامي ل(Ranque-Hilsch) وكانت مدى درجات الحرارة للهواء البارد تتراوح ما بـين (290 and 480K) وكـان الانبـوب يحتوي على اربع منافث مع فتحة خروج الهـواء البارد (orifice) بقطر (0.4D) وقطـر الانبـوب (D=30mm) .

عام (2002) قـام الباحـث (Al-Omran) [8] بدراسة الخواص الحرارية والهوائية للانابيب الدوامه باستخدام تقنية الليزر حيث تم تصنيع جهاز انبوب دوامي متطور نوع جريان متعاكس لتغطية كافة الاختبارات العملية وذلك بدراسة تاثير تغيـر النسبـة (L/D) والتي تراوحـت (15,20 and 25) ولاربعـــة انابــيب باقطـــار (20,15,10.8,7.5mm) مع دراسة تاثير تغيـر درجة حرارة الهواء الداخل (15-80) باسـتخدام ضغوط تراوحت ما بين (2-6bar) . نسبة كتلـة الهواء البارد الى الهواء الكلي (Y=0-1) وبذلك تم دراسة تاثير فصل الطاقـة علـى (12) انبـوب دوامي.

اظهرت النتائج ان افضل تصميم للانبـوب الدوامي الذي اعطى فصـل للطاقـة كـان عنـد (D_n=4mm) وعدد المنفثات (1) وزاوية الصمام المخروطـي (30°) و(D=7.5-20mm) ونسـبة (L/D=20) .

-التحليل النظري

من خلال الشكل (3) للأنبوب الدوامي حيـث الرموز (I,C,H) تتمثل حالات الهواء الداخل الـى المنفث فتحة خروج المواد مـن النهايـة البـاردة والساخنة على التعاقب يتضح ما يلي

(2)..... معادلة اتزان الكتلة $m_i = m_c + m_h$

تم اهمال صافي تغيير الطاقة الحركية والخسـائر من الانبوب وحيث الحرارة التي فقـدت بواسـطة

(3).... معادلة اتزان الطاقة $m_i h_i = m_c h_c + m_h h_h$

تيار الهواء البارد تساوي الحرارة المكتسبة من قبل تيار الهواء الساخن .

فان المعادلةاعلاه تصبـح

$$(T_i - T_c) = m_h (T_h - T_i) = m_i - m_c (T_h - T_i) \quad \ldots\ldots (4)$$

or

$$Y = \frac{m_c}{m_i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

افترضت الاجراءات السابقة بتمدد ايزونتروبـي من ضغط الدخول (P_i) الى الضغط الجـوي (P_a)

وايجاد توزيع السرع والضغط ودرجات الحـرارة خلال مقطع داخل الانبوب الـدوامي مـن خـلال الافتراض ان الجريان الاضطرابي داخل الانبـوب يتكون من جريان قطري واخر محيطي وان المائع في المنطقة المركزية يعمل عمل القـص (shear work) على المائع في المنطقة الخلفية والذي ينتج عنه أنفصال كلي في درجات الحـرارة .اسـتخدم الباحثان الانتشار المضطرب (εr) وقدما حل رياضي لمعادلـة الـدوران (swirl equation) :-

$$\rho u \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{\rho u v}{r} = \rho \varepsilon r \left[\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial v}{\partial r} - \frac{2}{r} \right] \quad \ldots (1)$$

$$Y = \frac{\Delta T_h}{\Delta T_h + \Delta T_c} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

عند النهاية الباردة لذا فان هبوط درجات الحـرارة الاستاتيكي نتيجة التمدد يعطي وفقا

*الكلية التقنية\بغداد
**معهد التكنولوجيا\بغداد
*** الجامعة التكنولوجية\بغداد

للمعادلة :-

$$\Delta T_{c'} = T_i - T_{c'} = T_i\left[1-(\frac{p_a}{p_i})^{\gamma-1/\gamma}\right] \quad ...(7)$$

ان هبوط درجات الحـرارة الحاصـل فـي الانبوب الدوامي تعرف بـ ـ (ΔT_c) ونسـبة الـ (ΔT_c) الـــــــــــــــــــــــــــــــــى

(ΔT_{c-}) تسمى " نسبة هبوط درجة الحرارة " Φ

$$\Phi = \Delta T_{rel} = \frac{\Delta T_c}{\Delta T_{c'}} \quad ...(8)$$

والكفاءة الايزونتروبية للانبوب الدوامي بـ[9] .

$$\zeta_{ise} = Y\Delta T_{rel} \quad .... (8.a)$$

$$\eta_{ise} = \frac{\text{تاثير التبريد الحقيقي الحاصل في الانبوب الـدوامي}}{\text{تـاثير التبريـد الحاصـل بالتمديـد الاديبـاتي}}$$

معامل الأداء (COP) للأنبوب الدوامي يعـرف على انه النسبة بين تاثير التبريد الحقيقي الى القدرة الداخلة لضاغط الهـواء . ان إجـراء الانضـغاط المثالي لكتلة الهواء الداخلة الى ضاغط الهواء من الضغط الجوي (P_a) الى الضغط العالي (P_i) تتمثل بخط (T_i-T_f) كما موضح فـي الشـكل (2) امـا اجراء الانضغاط الحقيقي فتتمثل بـالخط (T_i-T_f) الشغل الحقيقي للانضغاط يعطى بالمعادلة : [10]

$$W_{act} = \frac{m_i cp(T_f - T_i)}{\eta_{comp}} \quad ...(9)$$

حيث (η comp تمثل الكفاءة الايزونتروبية لضاغط الهواء)

كذلك (10)

$$(\frac{P_i}{P_a})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} T_f = T_i \quad)...(10)$$

ومن (9) و (10) نحصل على

$$W_{act} = \frac{m_i c_p T_i\left\{(\frac{P_{iz}}{P_a})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1\right\}}{\eta_{comp}} \quad ...(11)$$

ومن المعادلتين (11) ، (12) نحصل على :-

$$COP = \frac{m_c C_p \Delta T_c \eta_{comp}}{M_{iCpTi}\left\{(\frac{P_i}{P_a})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1)\right\}} \quad ..... (13)$$

و بالتعويض قيمة الـ (T_I) من المعادلة (9) في المعادلة (13) نحصل على

ان الهواء المضغوط يجب تبريده بثبوت الضغط فـي مبرد هوائي الى درجة الحرارة الابتدائية (T_i) قبـل ان يدخل الى الانبوب الدوامي .

اما تاثير التبريد الحقيقي للانبوب الدوامي

$$T_c \Delta Q_r = m_c C_p \quad .... (12)$$

$$T_i = \frac{\Delta T_{c'}}{1-(\frac{P_a}{P_i})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad .... (14)$$

$$\phi\, \eta_{ise}(\frac{P_a}{P_i})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \qquad COP=Y$$

*الكلية التقنية\بغداد
**معهد التكنولوجيا\بغداد
*** الجامعة التكنولوجية\بغداد

$$COP \quad \frac{\Delta T_c}{\Delta T_{c^-}} \eta_{comp} (\frac{P_a}{P^i})^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad ..(15)$$

3-منظومة الأنبوب الدوامي
تم تصميم وتصنيع انبوب دوامي مـن مـادة الالمنيوم ويتكون من الاجـزاء التاليـة شكل(3) :

a - الأنبوب : وهو انبوب مصنوع من الالمنيـوم عزل بعازل حراري نـوع (glass wool) اجريت عليه عمليـة تثقيـب علـى بعـد (40mm) من احدى جانبية بشـكل ثقـب بيضوي قطره (10mm) وبطريقـة فنيـة لجلوس نهاية شفرة المنفث (Nozzle) علية ليصبح مماس داخلي مع الانبوب والاثنـان كانهما قطعة واحدة فـي داخـل الانبـوب لضمان دخول الهواء في الانبـوب بشـكل مماسـي والحصـول علـى جريـان دوامـــــــي (swirl flow) .

B - لوح الألمنيوم (1):- قطعه مربعة من ألالمنيوم ثقب من وسطها لتثبيـت (غطـاء المربـع الاسـطواني) Clindrical-Squared Housing فيها وفي اسفل القطعة اجريـت عملية تسنين لتثبيت القطعة مع القاعدة التي تستند عليها ببراغي .

C غطاء المربع الاسطواني :- وهي اسطوانة صلده من ألالمنيوم ,اجريـت عليهـا عمليـات تشغيل لضمان دخول الانبوب .

المنفث :- تم تصنيع المنفث (Nozzle) ايضـاً مـن ألالمنيوم بشكل محكـم لضـمان عـدم انقلابها او أي تسرب وخصوصـاً فـي الضغوط العالي الـداخلي للمنفـث مـن الزحف والتحرك لضمان الحضول علـى الجريان الدوامي (Swirl flow) .

e - الواح ألالمنيوم 2,3,4 :- عبارة عـن ثلاثـة قطع مربعة من الالمنيوم .

4-النتائج والمناقشة

1-تأثير نسبة كتلة الهـواء البـارد علـى فـروق درجات الحراره :

ان فرق درجات الحراره مابين الهواء البـارد الخارج والهواء الداخل(ΔT_c) تـزداد بزيـادة (Y)حتى تصل الى اعلى قيمه لـ (Y) ضـمن المـــدى(Y=0.3-0.4) ثم بعـد ذلـك تبـداء بالنقصان تدريجيا بزيادة (Y).

الشكل(4) يوضح تأثير تغير نسبة كتلة الهـواء البارد(Y) على الفرق مابين درجة حرارة الهـواء الساخن ودرجة حرارة الهواء الـداخل (ΔT_h) بالاضافه الى الفرق مابين درجة حـرارة الهـواء البارد ودرجة حرارة الهـواء الـداخل (ΔT_c) ولمدى الضغوط المطلقه بـين (2-6 bar)الشكل اعلاه يبين منحنى اداء فصـل الطاقـه للانبوب الدوامي رقم(1) وعند نسـبة(L\D=20) وللقطر الصمام المخروطـي(dc=12mm) حيـث بينت النتائج ان افضل صمام مخروطي للانبـوب الدوامي رقم(1)هو(dc=12mm) حيث تبين فـي الشكل انه عند ادنى ضغط للهواء الداخل (P_{iabs}= 2bar) فان قيمة (ΔT_h) تزداد تـدريجيا حتـى تصـــــــل الـــــــى اعلــــــــى قيمــة($\Delta T_h = 6.5^\circ C$)عنــد اقصــى (Y=0.8)ثـم تقـل حتـى تصـل الـى ادنـــى قيم($\Delta T_h = 0.9^\circ C$)عند(Y ≈ 1).

فيما يتعلق بالفرق مابين درجة حرارة الهـواء البارد والهواء الداخل للانبوب الدوامي اعلاه فانها تزداد تدريجيا حتى تصل الى اقصى فـرق عنـد القيمـــــــــه ($\Delta T_c = -14.6^\circ C$) عند ادنى كتله للهـواء البـارد عنـد(Y=0.313) للانبوب اعلاه.

ان الفرق يزداد تدريجيا حتـى يصـل الـى قيمـة($\Delta T_c = -0.2^\circ C$) عنـد(Y ≈ 1) عند زيادة الضغط سـوف نحصـل علـى نفـس التصرف اعلاه ولكن بمستوى اعلى لفرق درجات الحراره.

عمليا يمكـن الملاحظه وعنـد اقصـى قيمـة للضغط (P_{iabs} =6bar) ان فرق درجات الحـراره لخطوط الهواء الساخن تزداد تدريجيا الى اقصـى قيمـــــــــــــــــــــــــــــــــــــــة($\Delta T_h = 13.5^\circ C$)عند(Y=0.841) وفيمـا يتعلق بالفروق مابين درجة حرارة الهواء البـارد والداخل فانها تقل تدريجيا حتى تصل الى اقصـى قيمــــــــــــــــــــــــــــــــــــــه($\Delta T_c = -26.5^\circ C$) عند(Y=0.313).

2- تاثير قطر الانابيب الدوامه على فرق درجات الحراره عند ثبوت نسبة كتلة الهواء البارد وثبوت(L/D):ـ

*الكلية التقنية\بغداد
**معهد التكنولوجيا\بغداد
*** الجامعة التكنولوجية\بغداد

الاشكال(5 و6) بينت تـأثير قطـر الانبـوب بثبوت النسـبه(L/D) علـى فـروق درجـات الحراره(ΔT_h)و(ΔT_c)بثبوت نسـبة كتلـة الهواء البارد عند(313 .Y=0) حيث اعطت ادنى قيمه لدرجة حرارة الهواء البارد وعند(Y=0.812) اقصى قيمة لدرجة حرارة الهواء الساخن عنـد الضغوط المطلقه للهواء الداخل(6 bar) حيث تـم اختباره لغرض اجراء المقارنه بين النتائج وثبوت درجة حرارة الهواء الداخل عند(33°C).

ان الاشكال المذكوره اعلاه اظهرت افضل فصل لدرجـة الحـراره للانابيـب الدوامـه عنـد النسبه(L/D=20).

3 -تاثير نسبة الهواء البارد على الكفـاءه الايزونتروبيه:ـ

يمكن ملاحظة ان الكفاءه الايزونتروبيـه للانبوب الـدوامي والتـي تـم حسـابها مـن المعادلة(8.a) تزداد بزيادة نسبة كتلـة الهـواء البارد حتى تصل الى اعلى قيمـة عنـد(Y) مابين(0.7ـ 0.5) ولعدة ضغوط مختلفه للهـواء الداخل وثبوت درجة حرارة الدخول (Ti=33°C) ثم تقل تدريجيا بزيادة(Y) تبعا لتقليل(ΔT_c) الى ان تصل الى ادنى قيمه عند(Y=0.964).

الشكل(7) اظهر تاثير نسبة كتلـة الهـواء البارد(Y) على الكفاءه الايزونتروبيه للانبـوب الدوامي رقـم(1) ولجميـع اقطـار الصـمام المخروطي ولضغط الهواء الداخل(Piabs=6bar) وقد تبين ان قطر الصـمام المخروطـــي(dc=12mm) اعطى اكبر فصل للطاقه يليـه القطر (dc=14mm) بشكل متقـارب حيـث اعطى القطر(dc=12mm) اعلى قيم للكفـاءه الايزونتروبيـــــــه تصـــــــل الى$\left(\eta_{ise} = 21.8\%\right)$ عنـد(Y=0.55) للانبوب رقم(1).

5-الاستنتاجات

1-التصميم الامثل للأنبوب الدوامي ذو الجريـان باتجاه واحد والذي اعطى القيم العليا لدرجـة حرارة الهواء الساخن والدنيا لدرجة حـرارة الهـواء البـارد تمثـل بـ(dn=6.5mm) و(dc=12mm) عدد المنافث(N=2) زاويـه الصمام المخروط (30°) و(L/D=20).

2 ـ انبـــوب الــــدوامي رقـــم(2) وهـــو(D=20mm,L=400mm)عنـد(dc=12mm) اعطى اوطـى درجـة حـراره للهـــواء البــــارد وصـــــلت الـى عنـد $\left(\Delta T_h = -30.6°C\right)$ (Y= 0.313),اقصى درجه حـراره للهـواء السـاخن وصـلت الى$\left(\Delta T_h = 14.5°C\right)$عنـد(Y=0.823).

3 – ان جميع الانابيب الدوامة المستخدمة في البحث كانت فروقات درجات الحرارة للهواء الساخن (ΔT_h) تزداد بازديـاد نسـبة كتلـة الهـواء البارد(Y) وتصل الى اقصى قيم لـهـا عنـد (Y=0.8-0.9) وان هبـوط درجـة

4- تاثير نسبة كتلة الهواء البارد علـى معامـل الاداء :ـ

يمكن ملاحظـة(COP)للانبوب الدوامي والتي تم حسابـها مـن المعادلـه (14) تزداد بزيادة نسبة كتلة الـهواء البارد تصل الـى اعلى قيمـة للكفـاءة الايزونتروبـيه عنـد (Y =0.5-0.7)ولعدة ضغوط مختلفه للهـواء الداخل وثبوت درجة حرارة الهواء الداخل عنـد(33°C) ثم تقل تدريجيا بزيادة(Y) حتى تصل الـى ادنـــى قيمـــة عنـــد اقـــل كفـــاءه ايزونتروبيـــــــــــه عند(Y=0.964).

واعطى اعلى قيمه للانبوب الدوامي رقم(2) تصل الى(COP=0.14) عنـد(Y=0.77) امـا الانبوب رقم(4) فقد اعطى افضـل نتائج عنـد القطر(dc=8mm) تصـل الـى(COP=0.09) عنـــد(Y=0.58).

5- تأثير نسبة كتلة الهواء البـارد علـى سـعة التبريد:ـ

يمكن ملاحظة ان سعة التبريـد والتـي تـم حسابا من المعادله(11) تزداد بازدياد نسبة كتلـة البارد حتى تصل الى اعلى قيمة عنـد(Y=0.6-0.8)ولعدة ضغوط مختلفه للهواء الداخل وبثبوت درجة حرارة الهواء الداخل عند(Ti= 33°C)ثـم تقل تدريجيا بزيادة (Y)تبعا لتقليل(ΔT_c) الى ان تصل الى ادنى قيمة عند(Y=0.986).

الشكل(8) اظهر تاثير تغير نسبة كتلة الهـواء(Y) على سعة التبريد للانبوب الـدوامي رقـم(1) ولجميع اقطار الصمام المخروطي ولضغط الهـواء الداخــــل(Piabs=6bar) وقد تبين ان قطـر الصمام المخروطــــــــي(dc=12mm) اعطـى اكبـر قيمـة لسعـة التبـريد تصـــل الى (Qr=1100watt) عند(Y=0.62).

*الكلية التقنية\بغداد

**معهد التكنولوجيا\بغداد

*** الجامعة التكنولوجية\بغداد

الحراره كانت بالقرب من $(Y \approx 1)$ وكذلك فروقات درجات الحراره للهواء البارد(ΔT_c) يزداد بزيادة (Y) وتصل الى اقصى قيمه لهـا عند (Y=0.3-0.4) ثم بعد ذلك يبدا بالنقصان عند زياده(Y) .

4- الكفاءة الايزونتروبية ومعامـل الاداء للانابيـب الدوامه ذات الجريان باتجاه واحد تـزداد مـع نسبة كتلة الهواء البارد (Y) عنـد(Y=0.5-0.7) وهذا يتطابق مـع الانبـوب الـدوامي متعاكس الجريان [8]. اما العلاقه بين الكفـاءه ومعامل الاداء مع ضغط دخول الهـواء فهـي علاقه طرديه وهذا خلاف مايحدث في الانبوب متعاكس الجريان.

ان انبوب الدوامي رقـم(2) فـي جـدول رقم(1) وعند القطر الصـمام المخروطـي (dc=12mm) ولضـغط الهـواء الداخـل (P_{iabs}=6bar) قد اعـطى اعـلى كفـاءه ايزونتروبيـه ومعامـل الاداء(COP) وصلـت الى($\eta_{ise} = 24\%$) و (COP=0.14)عن (Y=0.724).

5- سعة التبريد للانابيب الدوامه تزداد مع نسبة كتله الهواء البـارد (Y) وتصـل الـى اعلى قيمه لها عند (0.6-0.8) وكذلك تزداد قيمتها مع زيادة ضـغط الهـواء الـداخل وان الانبـوب الدوامي رقـم(2) وعنـد (dc=12mm) ولضغط الهواء الداخل (Pi=6bar) اعطى اعلـى قيم لسعة التبريد وصلت الى (Q_r=1380 Watt) عنـد(Y=0.704) .

6- Reference:

[1] Althonse,A.D,C.H.Turnqvist and A,F, Bracciano, “Modern Refrigeration and Air – Conditioning ”,pp.(640-643)1988.

[2] Van Deemter ,J., “On The Theory of The Ranuqe. Hilsch cooling effect” applied scientific research, series A, vol.3, pp.174-196,1952.

[3] Hilsch, R. “The use of the expansion of gases in a centrifugal field as a cooling process". The review of scientific Instuments,vol 18,No.2,pp. 108- 113 ,Feb 1947.

[4] Lay, J,E. “An Experimental and analytical study of vortex - flow temperature separation by superposition of spirl sand axid flows”. Part I. Transaction of the ASME,pp.202-212,Augest1959

[5] Deissler,R, Perlmntter,M, “Analysis of the flow and energy sepation in a turbulent vortex”. international journals of heat and mass transfer , vol.l, pp.173-191,1960.

[6] Gulyave, A-I". Investigation of comical vortex tube ”.Journal of Engineering Physics, vol.10,No.326-331,1966.

[7] Lemesh,N.I.and Sencuk,l.A. .“Thermal in homogeneities in vortex tubes”.Journal of Heat Transfer, soviet research ,vol.15,No.3,pp.118-123,1983.

[8] Al-Omron A.T. M . “The Study of the Thermodynamic and Aerodynamic properties of vortex tube using laser Techniqne”Phd Thesis, University of Technology, Mech. Eng. Dep., Baghdad ,Iraq ,February 2002.

[9] Mrsra,l. N. “Refrigeration and Air conditioning engineering,” Vani Educational Book , pp 365-373,1985.

[10] The Hilch vortex tube-Microsoft Internet Explorer. “ Vortex tube technology.” 20/10/2000. Reference. Sibbertser, W., German patent office, AT. Dec

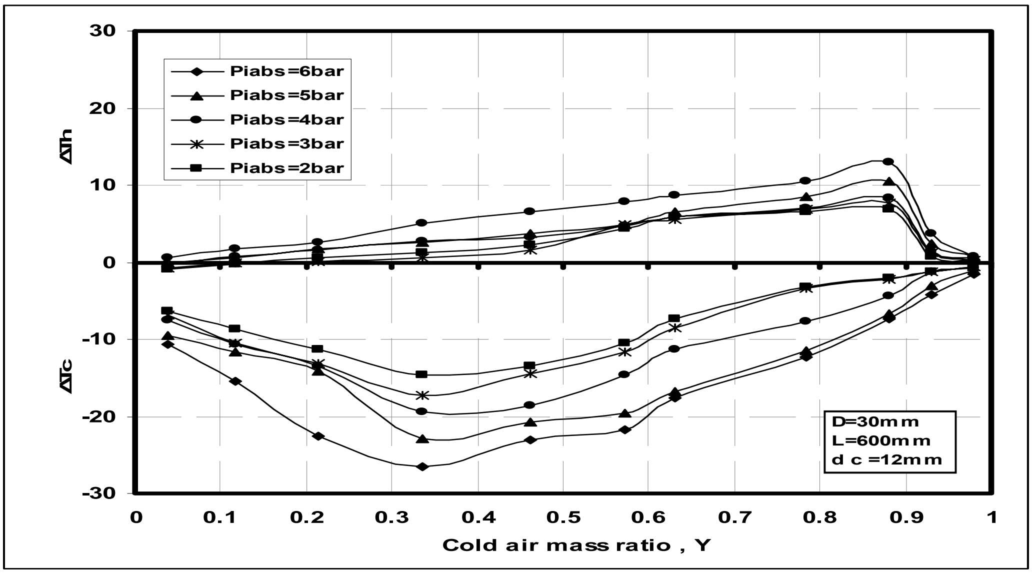
*الكلية التقنية\بغداد
**معهد التكنولوجيا\بغداد
*** الجامعة التكنولوجية\بغداد

Chamber	Dmm	L/D	Lmm	Dn mm	Dc mm	Dh mm
Vortex tube **No. 1**	30	20	600	6.5	6	14
					8	
					10	22
					12	
					14	28
Vortex tube *No. 2*	20	20	400	6.5	6	14
					8	
					10	22
					12	
					14	28
Vortex tube **No. 3**	15	20	300	6.5	6	14
					8	22
					10	
					12	28
Vortex tube **No. 4**	10	20	200	6.5	8	14
						22
					6	28
Vortex tube **No. 5** **Taper**	30 20	20	350	6.5	6	14
					8	22
					10	28
					12	
					14	

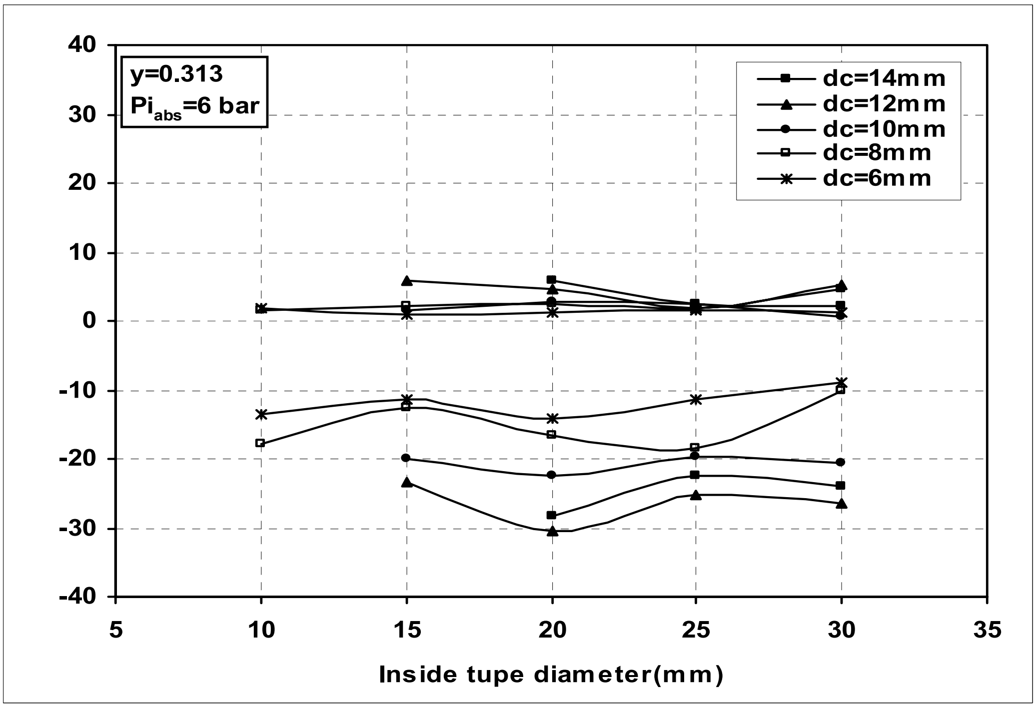
14
22
28

جدول رقم(1) الانابيب المستخدمة في البحث

*الكلية التقنية\بغداد
**معهد التكنولوجيا\بغداد
*** الجامعة التكنولوجية\بغداد



شكل(4) يمثل العلاقة بين نسبة كتلة الهواء البارد والفارق الحراري بين درجة حرارة الهواء الداخل وكل من درجة حرارة الهواء البارد والساخن للانبوب الدوامي رقم(1) ولمختلف ضغوط الهواء الداخل (P_i)

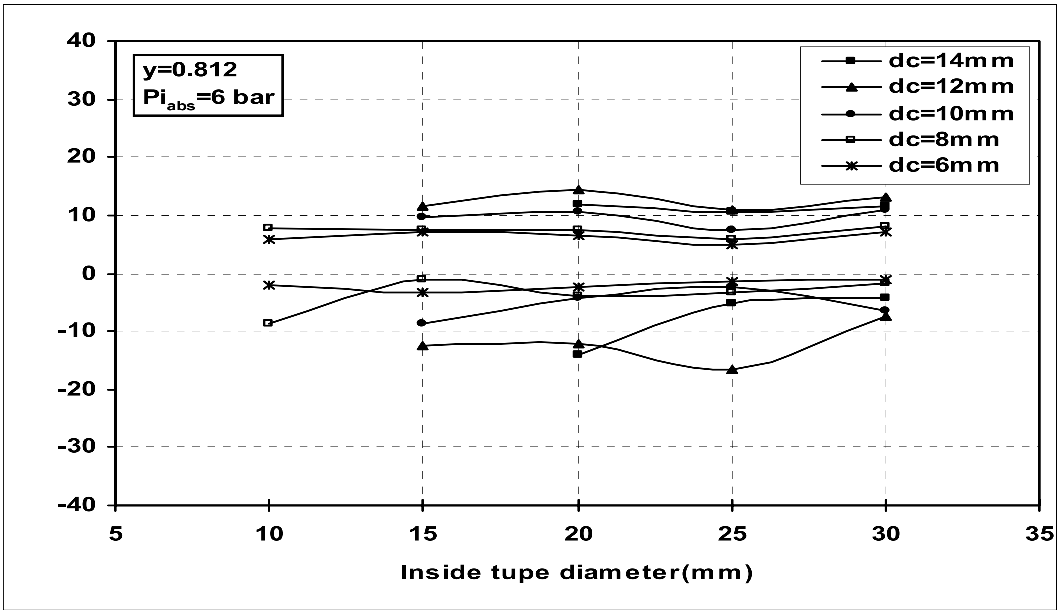


شكل(5) يمثل العلاقة بين القطر الداخلي للانبوب الدوامي والفارق الحراري بين درجة حرارة الهواء الداخل وكل من درجة حرارة الهواء البارد والساخن ولجميع اقطار الصمام المخروطي ولضغط الهواء الداخل (P_i=6bar)ونسبة كتلة الهواء البارد (Y=0.313)

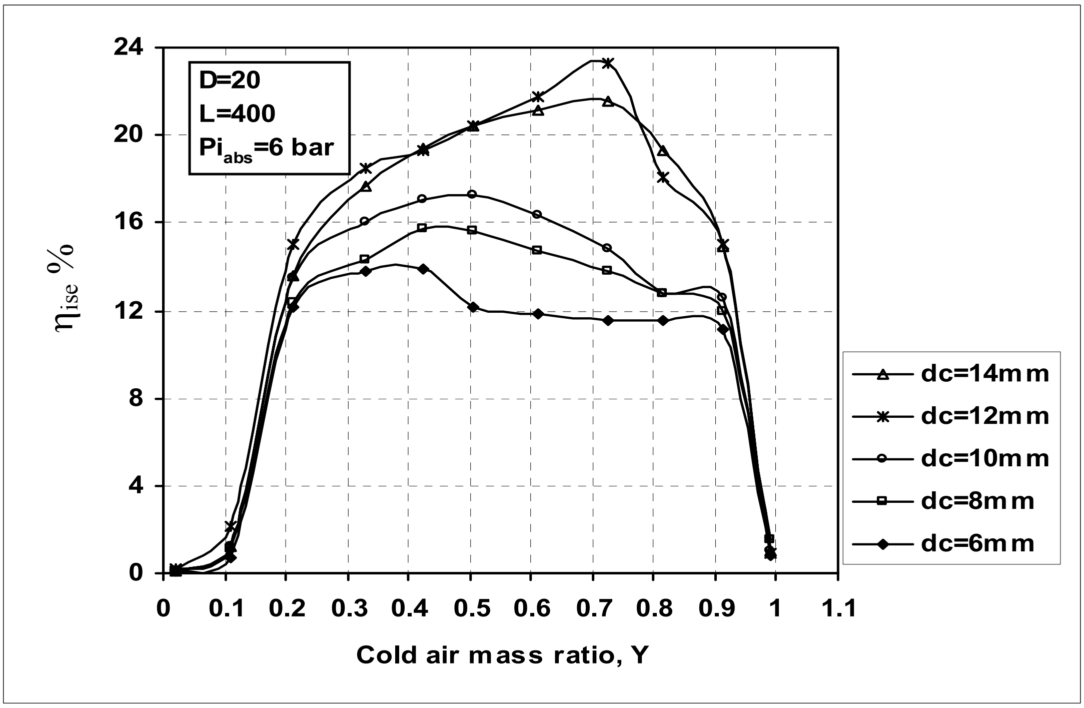
*الكلية التقنية\بغداد

**معهد التكنولوجيا\بغداد

*** الجامعة التكنولوجية\بغداد

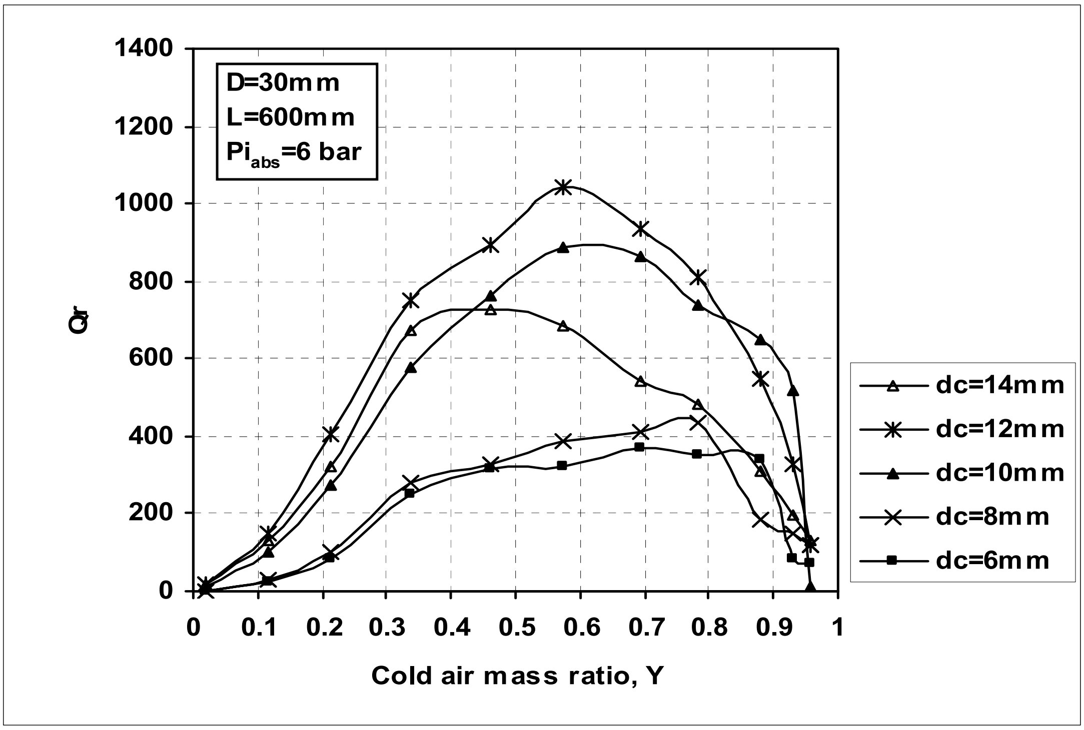


شكل(6) يمثل العلاقة بين القطر الداخلي للانبوب الدوامي والفارق الحراري بين درجة حرارة الهواء الداخل وكل من درجة حرارة الهواء البارد والساخن ولجميع اقطار الصمام المخروطي ولضغط الهواء الداخل (P_i=6bar) ونسبة كتلة الهواء البارد (Y=0.812)

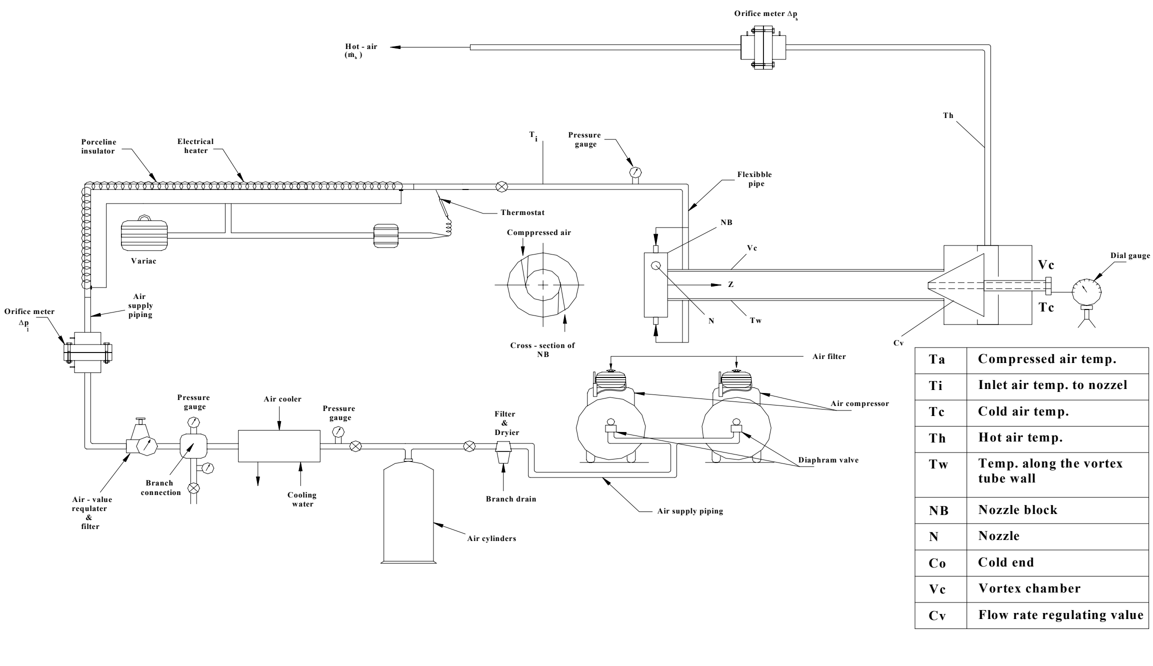


شكل(7) يمثل العلاقة بين نسبة كتلة الهواء البارد والكفاءة الايزونتروبية للانبوب الدوامي رقم(1) ولجميع اقطار الصمام المخروطي ولضغط الهواء الداخل (P_i=6bar)

*الكلية التقنية\بغداد
**معهد التكنولوجيا\بغداد
*** الجامعة التكنولوجية\بغداد



شكل(8) يمثل العلاقة بين نسبة كتلة الهواء البارد وسعة التبريد للانبوب الدوامي رقم (1) ولجميع اقطار الصمام المخروطي ولضغط الهواء الداخل (P_i=6bar)



شكل(3) رسم تخطيطي لمنظومة الأنبوب الدوامي

*الكلية التقنية\بغداد
**معهد التكنولوجيا\بغداد
*** الجامعة التكنولوجية\بغداد