

## دراسة عملية لتأثير الشكل الهندسي والإهتزازات العمودية على معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري من إسطوانة مزعنفة حلقياً ذات مقطع مثلث الشكل

وسام عبد كاطع \*

تاريخ التسليم: 2010/6/10

تاريخ القبول: 2011/3/3

### الخلاصة

يهدف هذا البحث إلى إجراء دراسة عملية لبيان تأثير الشكل الهندسي و الاهتزازات القسرية العمودية على معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري وذلك باستخدام أسطوانة مزعنفة حلقياً ذات مقطع مثلث الشكل مصنوعة من الألمنيوم موضوعة داخل مجرى هوائي . سُخِنَتْ بفيض حراري ثابت وذلك بإمرار تيار كهربائي متناوب خلال مقاومة مثبتة داخل الحيز الداخلي لهذه الاسطوانة التي وضعت أما أفقية أو مائلة بزوايا متعددة عن الأفق ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ). أُسْتُعْمِلَ في هذه الدراسة نموذج الأسطوانة المزعنفة حلقياً بقطر داخلي مقداره (16 mm) و قطر خارجي مع الزعنفة مقداره (48 mm)، وتمت دراسة تأثير كل من التردد ( $f$ ) لمدى (2 - 16 Hz) وسعة الاهتزاز ( $a$ ) من (0 - 2.2 mm) ولمعدلات فيض حراري ( $500, 1000, 1500 \text{ W/m}^2$ ). وقد وجد أن العلاقة بين معامل انتقال الحرارة مع سعة الاهتزاز هي علاقة طردية ولجميع زوايا الميل وتصل نسبة أعلى زيادة إلى (12.85%) نسبة إلى عدم وجود الإهتزاز . إن زيادة زاوية الميل تقلل من قيم معامل انتقال الحرارة الإهتزازي ، وذلك بسبب عمل الزعانف كمسارات تساعد في حركة تيارات الحمل في الحالة الأفقية ، أما في الحالة المائلة فتعمل الزعانف عمل معرقلات لتيارات الحمل ، وبصورة عامة فإن معامل انتقال الحرارة يزداد مع زيادة عدد رينولدز. تم مقارنة النتائج العملية مع نتائج المصدر [9] ووجد أن تأثير الشكل الهندسي على معامل انتقال الحرارة للأسطوانة المستخدمة في البحث أقل من الشكل الهندسي ذات زعانف حلقيّة مثلثة مقطوعة القمة ويعزى ذلك إلى أن المساحة السطحية الكلية للنموذج المستخدم في المصدر [9] أكبر من النموذج المستخدم في الدراسة الحالية .

## Experimental Study of the Effect Geometrical Shape and Vertical Vibrations on Forced Convection Heat Transfer Coefficient from Circumferentially Triangle-Cross Section Finned Cylinder

### Abstract

The aim of this work is to perform an experimental study for the effect of forced vertical vibrations on forced convection heat transfer coefficient, by the use of a circumferential finned cylinder made of Aluminum. The cylinder was heated under the condition of a constant heat flux which is generated by applying an alternating voltage on a fixed resistor mounted inside the interior space of the cylinder which was located horizontally or inclined in multiple angles of ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ). In this experimental study, the circumferential finned cylinder prototype of inner diameter (16 mm), and outer diameter including the fin of (48 mm) was used, and the effect of the frequency at a range of (2-16 Hz) and the vibration amplitude range of (0 - 2.2mm) have been studied with heat flux rates ( $500, 1000, 1500 \text{ W/m}^2$ ) on heat transfer coefficient. From the results of this study, it was found that the relation between the heat transfer coefficient and amplitude of vibration is incrementally for angles ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ). And reaches a maximum ratio of (12.85%) with respect to the frequency equals zero. The increment of

inclination angle reduces the values of forced convection heat transfer coefficient, because the fins work as path lines that help to increase the movement of convection currents in the case of horizontal prototype, but in case of inclined cylinder, the fins work as obstructions for the convection currents, thus reducing the ranges of forced convection vibrational heat transfer coefficient. Generally, the heat transfer coefficient increases as Reynolds number increases. The experimental results were compared with results of reference [9] and found that the effect of Geometrical shape on heat transfer coefficient of the cylinder used in this research less than that for reference [9] because the total surface area for the sample used in reference[9] was larger than that for the sample used in the current study .

### الرموز المستخدمة

الرمز	المعنى	الوحدة
$a$	سعة الاهتزاز.	$m$
$acc$	تعجيل الاهتزاز.	$m/s^2$
$A_{c3}$	مساحة الجزء غير المزعف من الاسطوانة.	$m^2$
$A_f$	المساحة الكلية للزعانف.	$m^2$
$A_{fd}$	المساحة الجانبية للزعنفة ذات المقطع المثلث.	$m^2$
$A_c$	مساحة الاسطوانة الكلية.	$m^2$
$C_p$	الحرارة النوعية بثبوت الضغط	$kJ/kg .K$
$D_b$	قطر الاسطوانة عند قاعدة الزعنفة.	$m$
$D_i$	القطر الداخلي للاسطوانة.	$m$
$D_{oc}$	القطر الخارجي للاسطوانة.	$m$
$f$	تردد الاهتزاز.	$Hz$
$h$	معامل انتقال الحرارة الإجمالي.	$W/m^2.K$
$h_o$	معامل انتقال الحرارة بدون اهتزاز.	$W/m^2.K$
$h_v$	معامل انتقال الحرارة الاهتزازي.	$W/m^2.K$
$I$	التيار الكهربائي.	$Amp.$
$k_f$	معامل التوصيل الحراري للألمنيوم.	$W/m.K$
$L$	طول الاسطوانة.	$m$
$L_f$	ارتفاع الزعنفة.	$m$
$n$	رقم موضع المزدوج الحراري على طول الاسطوانة المزعفة.	—
$N$	عدد الزعانف.	—
$Nu_v$	عدد نسلت الاهتزازي.	—
$M$	الكتلة.	$kg$
$p$	محيط القاعدتين.	$m$
$Q$	الفيض الحراري.	$W/m^2$
$Q_{conv}$	الحرارة المنتقلة بالحمل القسري.	$Watt$
$Q_{gen}$	الحرارة المتولدة نتيجة مرور تيار كهربائي.	$Watt$
$S$	المسافة بين زعنفة وأخرى	$m$
$U$	سرعة الهواء داخل المجرى الهوائي	$m$

$\theta$	زاوية الميل	degree
----------	-------------	--------

2- استخدام معدن ذي موصلية حرارية عالية (كالنحاس والألمنيوم).

3- تغيير الشكل الهندسي للمبادل الحراري حيث درس عدد من الباحثين عملية انتقال الحرارة من أسطوانة بالحمل الحر ، وأوجدوا علاقات تجريبية وعددية تحدد العلاقة ما بين عدد رايلى (Ra) وعدد نسلت (Nu).

4- استخدام وسط ناقل مناسب يكون ذو سعة حرارية عالية.

5- استخدام أسلوب مناسب لانتقال الحرارة كالحمل القسري أو الجريان المتعاكس الذي يؤدي إلى زيادة الفقد الحراري.

قام الباحثان (Fand & Kaye) [3] بإجراء دراسة عملية تخص تأثير حث الاهتزازات الميكانيكية العمودية التوافقية البسيطة على معدل انتقال الحرارة بواسطة الحمل الحر من سطح اسطوانة أفقية بقطر (2.23cm) مسخنة إلى الهواء لمدى المتغيرات التجريبية الابتدائية: لدرجة الحرارة ( $\Delta T = 102.78^\circ\text{C} - 13.09^\circ\text{C}$ ) ولسعة إهتزاز تتراوح بين (a = 0 - 4.07mm) ولمدى ترددات يتراوح بين (f = 45 - 225Hz) ولسرعة اهتزاز ( $U_v = 0 - 0.372 \text{ m/s}$ )، واستنتج الباحثان المعادلات التجريبية المدرجة بحدود:

$$h_v = 0.847 \times \left( \frac{\Delta T}{D} \right)^{0.2} \times a \times f \dots (1)$$

$$(Nu)_v = 8.5 \times 10^{-4} (Gr \times Pr)^{0.2} \times Re \dots (2)$$

وأستنتج الباحثان العلاقة الآتية لحالة التخمين السريع لتأثير الاهتزازات العمودية على معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر من أسطوانة أفقية إلى الهواء في منطقة الجريان الإضطرابي كامل التطور الذي يحدث نتيجة الإهتزاز:

$$\frac{h_v}{h_o} = 3.32 \times \left( \frac{\Delta T}{D} \right)^{-0.05} \times a \times f \dots (3)$$

درس الباحثان (Moawed & Ibrahim) [4] دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحرارة من سطح أنبوب ببيضوي المقطع لتأثير النسبة الباعية (major/minor) من (-

## المقدمة

هنالك الكثير من الدراسات والبحوث التي تناولت جريان الموائع وانتقال الحرارة بالحمل الحر والقسري من على أسطح مستوية وأسطح شبه إسطوانية وعلى الصعيدين العملي والنظري. كما تناولت بعض الدراسات انتقال الحرارة من على أسطح متموجة ونبضية في حالتها الحمل الحر والقسري. أما البحوث التي تناولت انتقال الحرارة بالحمل القسري من سطح إسطوانة مفردة مزعفة حلقياً فهي محدودة على حد علم الباحث .

أما الدراسات التي تناولت تأثير الإهتزازات الشاقولية (الحرّة والقسرية) على معامل انتقال الحرارة والتي أصبحت من المشاكل الرئيسية في التطبيقات الهندسية فهي قليلة نسبياً . تتم عملية انتقال الحرارة بالحمل القسري عندما يتحرك المائع نتيجة لقسره على الحركة , أي عندما تسلط عليه قوة معينة وتجبره على الحركة وهذا يتم في الجريان الداخلي والخارجي للمائع على السواء. تنتقل الحرارة من معظم أجهزة التبريد والتكيف بالحمل القسري الذي ينص على تحريك وسيط لنقل الحرارة لزيادة المساحة السطحية المتلامسة وإتاحة فرصة لكمية أكبر من المائع لكي ينقل الحرارة [1].

بالنظر للإستخدام الواسع للأنايبب المزعفة ذات المقاطع المختلفة في المبادلات الحرارية بجميع أشكالها وتطبيقاتها مثل أجهزة التكييف المركزي بما تحتويه من مكثفات ومبخرات ومسخنات هواء ، والأنايبب المزعفة تكون ذات مقطع دائري أو مثلث أو مقاطع مختلفة. لذا عند تطبيق مبادئ إنتقال الحرارة بالحمل لا بد من مراعاة عامل الكلفة عندما يكون المنتج المراد تصنيعه على مستوى تجاري ، ويتم ذلك عن طريق تقليل حجم المبادل الحراري ووزنه وزيادة كفاءته عن طريق زيادة الفقد الحراري ، إذ توجد عدة طرق لزيادة كفاءة المبادل الحراري منها [2] :

1-زيادة المساحة السطحية بتقليل الحجم (باستخدام الزعانف) .

جدارين مفتوح من الأعلى والأسفل إلى الهواء الخارجي ودرس تأثير المسافة العمودية لموقع الأنبوب داخل المجرى والمسافة بين حافة الزعانف وجدران المجرى وتوصل إلى العلاقة الآتية :

$$Nu/Nu_f = a+b \times Ra+c \times Ra^2 + d \times Ra..(6)$$

إذ أن (a,b,c,d) ثوابت متغيرة تعتمد على قيمة المسافة الفاصلة بين حافة الزعانف والجدار وتوصل إلى إن مجرى يُحسن من إنتقال الحرارة عندما تكون النسبة الباعية صغيرة ويكون الأنبوب في قاعدة المجرى .

قام الباحث (S. R. Kim) [8] (بدراسة عملية لتأثير الإهتزاز والفيض الحراري على معامل إنتقال الحرارة حول أسطوانة أفقية) تم في هذا البحث دراسة إنتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح أسطوانة بإستخدام الهواء كوسط ناقل للحركة لمعرفة الخواص الحرارية. تم وضع الأسطوانة بوضع أفقي ( $\theta=0^\circ$ ) ولمستويات فيض حراري مختلفة ( $45,180,400,750 \text{ W/m}^2$ ) وترددات تراوحت بين (0-60 Hz) ، وتوصل الباحثان إلى أن هز الأسطوانة في هواء ساكن يؤدي إلى زيادة انتقال الحرارة وبمدى محدود، وأن مقدار الحرارة المنتقلة تزداد بزيادة الفيض الحراري.

قدم الباحثان (د.زينة خليفة وفادي رياض) [9] بإجراء دراسة عملية لتأثير الاهتزازات القسرية العمودية على معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري وذلك باستعمال اسطوانة مزعفة حلقياً مصنوعة من الألمنيوم ذات زعفة مثلثة مقطوعة القمة. سُخنت بفيض حراري ثابت وذلك بإمرار تيار كهربائي متناوب خلال مقاومة مثبتة داخل الحيز الداخلي لهذه الاسطوانة التي كانت إما أفقية أو مائلة بزوايا متعددة عن الأفق ( $0^\circ - 45^\circ$ ). أُسْتَعْمِلَ في هذه الدراسة نموذج الاسطوانة المزعفة حلقياً بقطر داخلي مقداره (16mm) وبقطر خارجي مع الزعفة مقداره (48mm)، وتمت دراسة تأثير كل من التردد (f) لمدى (16-2 Hz) وسعة الاهتزاز (a) من (2.2 – 0 mm) ولمعدلات فيض حراري مختلفة تراوحت بين ( $1500-500 \text{ W/m}^2$ ).

الجريان ( $0^\circ - 90^\circ$ ) ولحدود قيم رايلي ( $6.5 \times 10^5 - 1.13 \times 10^8$ ) ، وُجد أن رقم رايلي يزداد بزيادة النسبة الباعية ( $-1.046 \leq S/c \leq 0$ ) ويكون أقصى ما يمكن عند نسبة باعية تساوي صفر ثم يبدأ بالتناقص لحدود نسبة باعية ( $0 \leq S/c \leq 1.046$ ) وتكون الزاوية ( $90^\circ$ ) هي أفضل زاوية توجيه للجريان.

أجرى الباحث (Stuart) [5] دراسة نظرية لإنتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح إسطوانة ملساء ولقيم عدد رايلي تتراوح بين الصفر إلى قيمة تصل إلى ما لا نهاية مع الأخذ بنظر الاعتبار منطقتين من الحمل الحر الطبقي والحمل الإضطرابي وقد توصل الباحث إلى بناء علاقة تجريبية اعتماداً على العلاقة التي أوجدها الباحث (Chirichil) والتي تنص على إرتباط العددين [Nu,Ra] ضمن العلاقة الآتية :

أ- عندما تقترب قيمة عدد برانتل إلى ما لانهاية تصبح :  $Nu = 0.518 Ra^{0.25}$   
ب- عندما تقترب قيمة عدد برانتل من الصفر تصبح :  $Nu = 0.599 Ra^{0.25}$

ثم قام الباحثان بتطوير علاقة أكثر تعقيداً تتضمن إضافة عدد برانتل إلى عدد [Nu,Ra] وكما يلي :  
 $Nu = 0.36 + 0.518(Ra/(1+0.599 Pr^{0.5625}))^{16/n}..(4)$   
حيث توصل الباحث إلى أن قيمة الثابت (n) في المعادلة (4) تصبح مساوية إلى الرقم (4).

أجرى الباحثان (Sparrow & Chrysler) [6] دراسة إنتقال الحرارة بالحمل الحر من إسطوانة أفقية قصيرة ملامسة لصفحة مستوية عمودية بثبوت الفيض الحراري ولقيم عدد رايلي تراوحت بين ( $1.4 \times 10^4 - 1.4 \times 10^5$ ) وتغيير موقع الإسطوانة على مدى ثلاثة إرتفاعات من الصفحة وتوصلا إلى علاقة تجريبية لجميع الحالات بالصيغة الآتية:

$$Nu = C \times Ra^m \dots\dots (5)$$

أجرى الباحث (Hassan) [7] مجموعة من التجارب على أنبوب مزعنف ذي زعانف مربعة الشكل، مثبت أفقياً في مجرى عمودي بين

المجرى الهوائي صنعت بوابة زجاجية على بعد (30 cm) من النهاية المفتوحة للمجرى طولها (40 cm) وارتفاعها (56 cm) للوصول إلى العينة في حالة تثبيت العينة أو تغيير زاوية الميل وتم إسناد المجرى الهوائي بمسند من حديد الزاوية بحيث يضمن تثبيت المجرى الهوائي .

تم استخدام نموذج الاختبار المصمم بشكل أسطوانة من الألمنيوم مزعنة حلقيًا ذات زعانف مثلثة الشكل ، صُنعت بواسطة ماكينة التفريز (أي الزعانف والإسطوانة) من قطعة واحدة ، بطول كلي مقداره (320mm) والطول المزعنف مقداره (300 mm) بقطر خارجي عند نهاية الزعنة مقداره (48 mm) وارتفاع الزعنة (13 mm) ، وعدد الزعانف (49) زعنة والمسافة بين زعنة وأخرى (2 mm) وعرض قاعدة الزعنة (4 mm) والقطر الداخلي للإسطوانة (16 mm) يستخدم لإحتواء آلية التسخين تحت شرط ثبوت الفيض الحراري . الشكل (1) و (2) يوضح نموذج الإختبار المستخدم . وتم تصنيع مسند على شكل حرف (U) من مادة الألمنيوم، وذلك لتقليل الوزن المسلط على جهاز مثير الإهتزاز ، أما قاعدة المسند مع المحور فقد تم تصنيعها من الحديد الصلب وذلك لضمان عدم تشوه المسند نتيجة الإهتزاز ونقل الحركة الإهتزازية بشكل كفاء ، ثبتت الإسطوانة بأذرع التوصيل بواسطة قطعتي تفلون عند نهايتي الإسطوانة ، لتقليل الفقد الحراري للنهائيات إضافة لكونه يتحمل درجات حرارة تصل إلى (300°C) دون أن ينصهر وبذلك سوف تهتز الإسطوانة مع الحامل بنفس التردد والسعة تقريباً حيث تكون منطقة الإختبار في حالة الزاوية ( $\theta=0^\circ$ ) عند منتصف المجرى الهوائي ، أي تكون معرضة إلى أقصى سرعة جريان داخل المجرى الهوائي و يتم تغيير الزاوية عن الأفق بزوايتي ( $\theta=30^\circ$ ) و ( $\theta=45^\circ$ ) عن طريق تثبيت عتلة بين إحدى نهايتي المسند ونهاية الإسطوانة تتصل بقطعة التفلون وتضبط عند الزاوية المحددة في البحث ، وكما موضح في الشكل (3) (أ، ب، ج) . إن سعة الاهتزاز المقاسة تكون للحامل وتساوي تقريباً سعة إهتزاز الاسطوانة إذ تم إهمال مرونة الحامل وعتلة تغيير الزاوية. كما تتكون الدائرة الكهربائية من ملف

وتوصلت الدراسة إلى ما يأتي :

- 1- إزداد معامل انتقال الحرارة مع زيادة سعة الاهتزاز بشكل عام ولجميع زوايا الميل وتصل نسبة أعلى زيادة إلى (13.34%) ، كما إن زيادة زاوية الميل تقلل من قيم معامل انتقال الحرارة الاهتزازي ، وذلك بسبب عرقلة الزعانف في الحالة المائلة عن الأفق لتيارات الحمل أما في الوضع الأفقي فتعمل الزعانف عمل مسارات تساعد في حركة تيارات الحمل ومن ثم تزيد من معدلات معامل انتقال الحرارة.
- 2- إن معامل انتقال الحرارة يزداد بشكل عام مع زيادة عدد رينولدز .

#### التجارب العملية وطرق الحساب :

أجري نوعان من التجارب هما:

- 1- تجارب أولية كان الغرض منها التأكد من صلاحية الجهاز ودقة تصنيع بعض الأجزاء. وقد أجري عدد من التجارب لاختبار شرط ثبوت الفيض الحراري وأخرى لقياس مدة استقرار الجهاز ، كذلك التأكد من قابلية منظومة توليد الاهتزازات التي تم تصنيعها واستخدامها لاختبار قدرتها على توليد الاهتزاز المطلوب ، كما تمت عدة تجارب لقياس قدرة دافعة الهواء على توليد تيار هوائي بالسرعة المطلوبة لانجاز التجارب ، وتم التأكد من عدم وجود تسرب في المجرى الهوائي .
- 2- التجارب العملية : تضمنت هذه التجارب إجراء (225) تجربة لقياس درجات الحرارة لسطح الإسطوانة المزعنة بواسطة (12) مزدوجاً حرارياً ثبت على سطح الاسطوانة المزعنة ، منها (45) تجربة تمت بدون تسليط اهتزاز و(180) تجربة تمت بتسليط اهتزازات بترددات مختلفة ولثلاث مستويات من الفيض الحراري وثلاث زوايا ميل لنموذج الاختبارات (الاسطوانة المزعنة) .

تم تصنيع مجرى هوائي ذو مقطع مربع من مادة الخشب المعاكس بأبعاد (60x60 cm) و بطول (2 m) ، وتم تصنيع مدخل المجرى بشكل هرم رباعي الأضلاع ، قمة الهرم تحتوي على فتحة دائرية لتثبيت دافعة الهواء وتم ربطه بإحدى نهايات المجرى الهوائي بإحكام وتمت عملية التثبيت بطريقة تضمن عدم وجود أي عائق داخل المجرى الهوائي لتسهيل إنسياب الهواء وتقليل تأثير المدخل، وفي إحدى جدران

## أجهزة توليد وقياس الاهتزازات:

تتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية وهي مولد الإشارة (Random Function Generator) الذي يولد إشارة جيبية (Sine Wave) بتردد معين حسب تنظيم الجهاز . ويمكن التحكم بسعة الاهتزاز و التردد ولمدى (0.1 Hz - 1 MHz) ، يقوم مولد الإشارة بتجهيز مضخم القدرة بإشارة جيبية وبتردد معين ، وقد تمت معايرة الإشارة الخارجة من مولد الإشارة ومراقبتها بواسطة جهاز راسم الذبذبة (Digital Oscilloscope) وتحديد كل تردد. يقوم هذا الجهاز برسم الإشارة الكهربائية وإظهارها على الشاشة ، تدخل الإشارة إلى هذا الجهاز من مولد الإشارة لكي تتم رؤيتها على الشاشة عن طريق احد المدخلين (ch1 or ch2) وذلك لحساب التردد ( $f$ ) و (Gain) ومقارنتها مع مولد الإشارة ، يحتوي هذا الجهاز على لوحة تحكم موجودة في مقدمة الجهاز، من خلالها نقوم بإجراء عملية التقسيم على الزمن أو الفولتية وذلك للحصول على إشارة واضحة يمكن الاستفادة منها، ويمكن إيقاف هذه الموجة لقراءتها أو تخزينها في الجهاز ، و يمكن إدخال أكثر من إشارة عن طريق ( ch2 & ch1 ) والمقارنة بينهما . بعد ذلك ترسل الإشارة إلى مضخم القدرة ( Power Amplifier) من نوع (PV 500) المستخدم في مجال الصوتيات حيث يكون قادر على تكبير قدرة الإشارة إلى (500 Watt) الذي بدوره يضخم الإشارة ويرسلها إلى مثير الاهتزاز ( Vibration Exciter ) الذي يهتز وفقاً للتردد المطلوب . لغرض هز الاسطوانة المزعفة وسط مجرى هوائي تم استخدام مجهر صوتي (Speaker) من نوع (SK-AHUJA 12FRZ) حيث تم استبدال الملف الخاص بالمجهر بملف ثانٍ ذي عدد لفات أعلى وقطر سلك أكبر مما هو موجود في الملف الأصلي ليلائم متطلبات حمل أنموذج الاختبار وكتلته (1.15Kg) حيث أضيفت دائرة الكترونية لغرض حماية الملف من الحرارة المتولدة الناتجة من ظاهرة التخلف المغناطيسي نتيجة تأثير كتلة الأجزاء المراد حثها على الاهتزاز عند الترددات المطلوبة ، ومن ثم تُثبت المجهر الصوتي بإحكام داخل إطار خشبية صنع بأبعاد (32×32 cm) كما تم عمل

تسخين ذي مقاومة حرارية مقدارها (V/I) وقدرة (1000 Watt) وُضع ملف التسخين داخل أنبوبة زجاجية من البيركس وعُزل بواسطة عوازل فخارية عند النهايات لتفادي (التماس الكهربائي) في الدائرة الكهربائية وتقليل الفقد الحراري عند النهايات أن الدائرة الكهربائية تتكون من أميتر (Ammeter) وفولتميتر (Voltmeter) ومنظم الفولتية (Variac) . الشكل (4) يوضح منظومة الاختبار الكلية المستخدمة في هذه الدراسة.

## قياس درجة الحرارة:

أستعملت مزدوجات حرارية (Thermocouples) من نوع (K) ذات قطر (1 mm) ثبتت على الاسطوانة المزعفة حلقيًا باستعمال مادة الإيبوكسي (Epoxy) المقاومة للحرارة وذات التوصيل العالي إذ تم استخدام (12) مزدوجاً حرارياً موزعة بمسافات متساوية على طول الاسطوانة المزعفة وعند القاعدة (21 mm) حيث تم لحام رأس المزدوج الحراري باستعمال الشرارة الكهربائية وتنظيف رأسه الكروي من الأكاسيد ثم ثبت بعمق (mm) (1) عند قاعدة الزعفة وتمت معايرة المزدوجات الحرارية في قسم الهندسة الكيماوية /الجامعة التكنولوجية ، وُصلت هذه المزدوجات الحرارية بمفتاح إختياري (Selector Switch) ذي (15) مفتاحاً ومن ثم وُصلت بمحرار رقمي ( Digital Thermometer) الذي له القدرة على قياس درجة الحرارة ضمن المدى (1200 - 40-°C) .

تم قياس سرعة الهواء المسلطة على نموذج الاختبار بواسطة مقياس سرعة الهواء الرقمي (Digital anemometer) ويحتوي على جزء قابل للدوران (Vane probe) حيث يحول الحركة الميكانيكية المتولدة بفعل سرعة الهواء إلى فولتية ، ترسل إلى المحول الذي بدوره يتحسس الجهد الكهربائي وبالتالي تعرض قيمة سرعة الهواء عن طريق شاشة صغيرة ، كما ويحتوي المحول على مفتاح إختياري لتحديد قياس سرعة الهواء بوحدات (m/s) أو (km/h) .

- 5- تردد الاهتزاز (4 – 16 Hz) .  
 6- تعجيل الاهتزاز (0.189 – 3.644 m/s<sup>2</sup>) .  
 7- سرعة الهواء داخل المجرى الهوائي (1) (5 m/s) .

#### الحسابات :

إن طول المنطقة المزعفة المعرضة إلى فيض حراري منظم وثابت هي (300 mm) وأن كمية الحرارة المتولدة في المسخن الكهربائي الكلية ( $Q_{gen}$ ) تتحول إلى حرارة تنتقل عبر الزعفة بالتوصيل وإلى المحيط الخارجي من الاسطوانة بالحمل القسري ( $Q_{conv}$ ) إضافة إلى الحرارة المفقودة بالإشعاع ( $Q_{rad}$ ) [2] .

$$Q_{gen} = Q_{conv} + Q_{rad} \dots\dots\dots (7)$$

أن كمية الحرارة المتولدة الكلية تحسب كما يأتي:

$$Q_{gen} = V \times I \dots\dots\dots (8)$$

وان كمية الحرارة المنتقلة بالإشعاع تحسب كما يأتي :

$$Q_{rad} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot S_{sur} \cdot A_r \cdot (T_{sav}^4 - T_{air}^4) \dots\dots\dots (9)$$

حيث أن:

$\varepsilon$  : عامل انبعاثية السطح وتساوي (0.04) .

$S_{sur}$ : معامل الشكل ويساوي (1) .

لذا تم حساب كمية الحرارة المنتقلة بالحمل كما يأتي:

$$Q_{conv} = Q_{gen} + Q_{rad} \dots\dots\dots (10)$$

وعليه إن معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري تم حسابه من المعادلة الآتية التي تعرف بقانون نيوتن للتبريد:

$$h = \frac{Q_{conv}}{A_r \times \Delta T} \dots\dots\dots (11)$$

إن المساحة السطحية لأنموذج الاختبار تم حسابها كما يأتي :

حيث أن:

$$A_f = A_{sd} \times 2 \times N$$

$A_{sd}$ : هي المساحة الجانبية للمثلث.

$$A_{sd} = L_s \times p$$

قاعدة دائرية داخل الغشاء المرن من مادة الميلامين لمراعاة عامل التخمد حيث إن مركز هذه القاعدة يتمحور مع مركز الإهتزاز الذي يثبت عليه المسند الحامل لعينة الاختبار المزعفة كما تم تصنيع ذراع ماسك لضبط مركز الإهتزاز على ارتفاع معين مسبقاً. لمعايرة الوضع الصفري للمسند (Zero Position) وضعت لوالب خاصة له ليهتز مع العينة لتجنب ظاهرة التخلف المغناطيسي للملف والتي تؤثر على مواصفات الإهتزاز إضافة إلى تأثيرها التدميري للملف . وكما هو موضح تم تجميع منظومة توليد اهتزاز بمساعدة فنيين ذوي خبرة في هذا المجال حيث تم استخدام جهاز مضخم قدرة صوتي، وتم تصنيع مثير الاهتزاز باستعمال الغشاء المرن(الذي يستخدم في مجاهر الصوت عالية القدرة).

يتم قياس تعجيل الإهتزاز وسرعته بواسطة جهاز قياس الاهتزاز ( Vibration Meter ) وبالتالي حساب سعة الاهتزاز وذلك عن طريق متحسس للإهتزاز يتم تثبيته بصورة عمودية على المسند أي مواز لإتجاه حركة الاهتزاز بواسطة مغناطيس مربوط مع المتحسس. أن المتحسس يقوم بكشف التغيرات الفيزيائية ويقوم بتحويلها إلى إشارة وبالتالي تقاس هذه الإشارة وتسجل ، وهذا الجهاز معاير للعمل أما على معدل الجذر التربيعي ( RMS ) أو من قمة إلى قمة ( peak to peak ) ويصل أعلى قيمة للسرعة ومقدارها (200mm/s) وللتعجيل ( 200 m/s<sup>2</sup> ) .

#### المتغيرات المقاسة في البحث:

يمكن إدراج المتغيرات المقاسة في البحث كما يأتي:

- 1- القدرة الكهربائية المجهزة لمنظومة التسخين (75.4 – 226 W) .
- 2- درجة حرارة سطح الاسطوانة عند قاعدة الزعفة (60 – 290°C) .
- 3- درجة حرارة الهواء المحيط (25 - 29 °C) .
- 4- زاوية ميل الاسطوانة عن الأفق (0° - 45°) .

أُعتمدت معدل درجة حرارة الغشاء ( $T_f$ ) في حساب خواص المائع الخارجي والتي يعتمد عليها في حساب القيم اللابعدية الآتية: (عدد رينولدز الاهتزازي، عدد نسلت، عدد رينولدز).

$$Re_v = \frac{2\pi \times f \times a \times S}{\nu} \dots\dots\dots (17)$$

$$Nu = \frac{h \times S}{K_f} \dots\dots\dots (18)$$

$$Re = \frac{U \cdot S}{\nu} \dots\dots\dots (19)$$

#### مناقشة النتائج:

تمت في هذا البحث دراسة تجريبية لمعرفة مدى تأثير الاهتزازات القسرية على معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري من سطح إسطوانة مزعفة حلقيًا، وكذلك تأثير الشكل الهندسي على معامل انتقال الحرارة إذ كانت الزعانف ذات مقطع مثلث الشكل وتم إجراء التجارب على مرحلتين، أجريت تجارب المرحلة الأولى بدون اهتزازات ولثلاث زوايا ميل للأسطوانة المزعفة وهي ( $\theta=0^\circ, \theta=30^\circ, \theta=45^\circ$ ) ولثلاث قيم للفيض الحراري داخل الاسطوانة ( $Q=500, 1000, 1500 \text{ W/m}^2$ ) وتم استخدام الهواء وسطاً ناقلاً للحرارة وبخمس أعداد رينولدز هي

( $Re=385, 770, 1150, 1540, 1920$ )، أما المرحلة الثانية فتمت بتسليط اهتزازات قسرية بترددات مداها ( $f=2, 6, 10, 16 \text{ Hz}$ ) ولنفس زوايا الميل لكل تجربة ولنفس أعداد رينولدز التي أعتمدت في المرحلة الأولى وتمت مقارنة نتائج المرحلة الأولى بنتائج المرحلة الثانية.

#### تأثير الشكل الهندسي على معامل انتقال الحرارة الإجمالي:

الأشكال من (5) إلى (13) توضح العلاقة بين عدد رينولدز ومعامل انتقال الحرارة وتم مقارنة النتائج لكل من أسطوانة مزعفة حلقيًا ذات مقطع مثلث الشكل مقطوع القمة [9] وأسطوانة مزعفة حلقيًا ذات مقطع مثلث الشكل وتبين أن للشكل الهندسي تأثير على معامل انتقال الحرارة الإجمالي، حيث كان أعلى معامل انتقال حرارة للأنموذج المستخدم في المصدر [9] ( $h=17.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) وللأنموذج المستخدم في البحث الحالي ( $h=17.35$ )

$L_s$ : طول الضلع المائل في الاسطوانة المثثة.

$$L_s = \sqrt{L_f^2 + \left(\frac{t_2}{2}\right)^2}$$

$L_f$ : ارتفاع الزعنف.

$P$ : محيط القاء دنتين

$$p = \pi (D_b + D_o)$$

حيث تم حساب المساحة السطحية الكلية لأنموذج الأختبار وتساوي 0.1463036  $(\text{m}^2)$ .

$A_f$ : المساحة السطحية الكلية المعرضة للحمل وتساوي مساحة الزعانف إضافة إلى مساحة المنطقة التي لا تحتوي على زعانف.

$$A_t = A_f + A_{cy} \dots\dots\dots (12)$$

$$T_{sav} = \frac{(T_1 + T_2 + \dots + T_n)}{n} \dots\dots\dots (13)$$

كما تم حساب معدل درجات الحرارة كما يلي: أما معدل درجة حرارة طبقة الغشاء ( $T_f$ ) تم حسابها كما يأتي:

$$T_f = \frac{T_{sav} + T_{air}}{2} \dots\dots\dots (14)$$

أُعتمدت هذه الدرجة في حساب الخواص الفيزيائية للمادة العاملة (الهواء) بعد إيجاد معادلات تمكنا من الحصول على أي خاصية عند أي درجة حرارة. أما لغرض حساب الفيض الحراري المسلط على الإسطوانة المزعفة يتطلب حساب القدرة المتولدة نتيجة مرور تيار كهربائي في مقاومة التسخين، والمساحة السطحية المعرضة لهذه القدرة هي مساحة الأنبوب الداخلي للأسطوانة المزعفة وتحسب كما يأتي:

$$A_{si} = \pi \times D_i \times L_c \dots\dots\dots (15)$$

$$\text{heat Flux} = \frac{Q_{\text{gen}}}{A_{si}} \dots\dots\dots (16)$$

الأعداد اللابعدية:

زاوية الميل إذ إن تأثير السرعة يتباين بزيادة زاوية الميل على طول العينة وبالتالي ينعكس على معامل انتقال الحرارة ، إذ إن الزعانف الحلقيّة تعمل على توجيه الجريان في الوضع الأفقي أما في الوضع المائل فتعمل على عرقلة مسار الجريان. كما توضح الأشكال أدناه زيادة معامل انتقال الحرارة الإجمالي بزيادة الفيض الحراري بشكل عام . وأن زيادة زاوية الميل عن الأفق تؤدي إلى تناقص معامل انتقال الحرارة ويعزى ذلك للأسباب التالية:

1- أن السرعة المؤثرة على الجانب العلوي من أنموذج الاختبار لا تساوي السرعة المؤثرة على الجانب الأسفل مما يؤدي إلى حصول تفاوت في انتقال الحرارة بسبب وجود فرق في عملية تبريد السطح العلوي والسفلي لأنموذج الاختبار .

2- في حالة زيادة زاوية الميل تعمل الزعانف عمل مصدات للجريان إذ تضاف مقاومة خارجية نتيجة الجريان الثانوي الذي يؤدي إلى تسخين العينة وبذلك يكون الفرق في درجات الحرارة بين سطح الاختبار وطبقة المائع المتاخمة قليلاً ويعمل على خفض معدل الحرارة المنتقلة ، أما في حالة الزاوية ( $\theta=0$ ) تُكوّن الزعانف مسارات تعمل على توجيه الجريان ويعمل الاهتزاز على نشوء جريان ثانوي يتحد مع الجريان الرئيسي لتبريد أنموذج الاختبار فيزداد معامل انتقال الحرارة لكافة أعداد رينولدز وللمديات الواطئة من الترددات. حيث يتضح من جميع أشكال البحث أن بزيادة عدد رينولدز يزداد معامل انتقال الحرارة الإجمالي .

**تأثير الفيض الحراري على معامل انتقال الحرارة الإجمالي:**

الأشكال (14)(15)(16) توضح تأثير الفيض الحراري على معامل انتقال الحرارة الإجمالي ولزوايا إنفراج ( $\theta=0^\circ, \theta=30^\circ, \theta=45^\circ$ ) في حالة عدم وجود الاهتزاز على التوالي. إن بزيادة الفيض الحراري يزداد معامل انتقال الحرارة ولمختلف الزوايا المستخدمة في البحث لأن كمية الحرارة المسلطة على أنموذج الاختبار أكبر وبالتالي تكون الحرارة المنتقلة إلى المحيط أكبر .

**تأثير الاهتزاز على معامل انتقال الحرارة الإجمالي:**

الأشكال (14)(15)(16) توضح تأثير الاهتزاز على معامل انتقال الحرارة الإجمالي ولزوايا إنفراج ( $\theta=0^\circ, \theta=30^\circ, \theta=45^\circ$ ) في حالة عدم وجود الاهتزاز على التوالي. إن بزيادة الفيض الحراري يزداد معامل انتقال الحرارة ولمختلف الزوايا المستخدمة في البحث لأن كمية الحرارة المسلطة على أنموذج الاختبار أكبر وبالتالي تكون الحرارة المنتقلة إلى المحيط أكبر .

عند تردد ( $f=2$  Hz) وفيض حراري ( $Q=1500$  W/m<sup>2</sup>.K) وزاوية ( $\theta=0^\circ$ ) ، وأقل معامل انتقال حرارة للأنموذج المستخدم في المصدر [9] وللأنموذج المستخدم في البحث الحالي كان ( $h=10.2$  W/m<sup>2</sup>.K) و ( $h=10$  W/m<sup>2</sup>.K) على التوالي عند تردد ( $f=16$  Hz) وفيض حراري ( $Q=500$  W/m<sup>2</sup>.K) وزاوية ( $\theta=45^\circ$ ). ويعزى ذلك إلى أن المساحة السطحية الكلية ( $A_r$ ) لانتقال الحرارة للنموذج المستخدم في المصدر [9] أكبر من الأنموذج المستخدم في البحث الحالي.

**تأثير الاهتزاز على معامل انتقال الحرارة الإجمالي:**

الأشكال من (5) إلى (13) توضح أن للاهتزازات تأثيراً في قيم معامل انتقال الحرارة الإجمالي، إذ يكون أكبر مما هو عليه في حالة عدم وجود الاهتزاز بشكل عام ولزوايا الميل المحددة في البحث كافة. إن وجود الاهتزاز المسلط بالترددات التالية ( $f=2,6,10,16$  Hz) على أنموذج الاختبار ولجميع الزوايا وقيم الفيض الحراري المحددة في البحث يُحسن من قيم معامل انتقال الحرارة نسبةً إلى حالة عدم وجود الاهتزاز . أن تأثير الاهتزاز يكون إيجابياً في زيادة معامل انتقال الحرارة عند الترددات الواطئة ويقبل هذا التأثير عند الترددات العالية ( $16$  Hz) ولكافة مستويات الفيض الحراري وزوايا الميل المعتمدة . ويعزى ذلك إلى أن الترددات الواطئة ذي سعة إهتزازية عالية تعمل على خرق الطبقة المتاخمة الحرارية مما يؤدي إلى تحسين معامل انتقال الحرارة . أما الترددات العالية ذات السعات الاهتزازية الواطئة يكاد يكون تأثيرها محدود نسبة إلى عدم وجود الاهتزاز لعدم قدرتها على خرق الطبقة المتاخمة الحرارية.

**تأثير عدد رينولدز على معامل انتقال الحرارة الإجمالي :**

يزداد معامل انتقال الحرارة الإجمالي بشكل عام بزيادة عدد رينولدز ولكافة زوايا الميل المحددة في البحث لمختلف الترددات القسرية بوجود وعدم وجود الاهتزاز وتكون هذه الزيادة عند الزاوية ( $\theta=0^\circ$ ) أعلى من الزاويتين ( $\theta=30^\circ$  و  $\theta=45^\circ$ ) ، ويعزى ذلك إلى كون أنموذج الاختبار معرضاً إلى سرعة الجريان القصوى عند الزاوية ( $\theta=0^\circ$ ) ويقبل هذا التأثير بزيادة

[4] Moawed M. and Ibrahim E., "Heat Transfer by free convection inside horizontal elliptic tubes with different axis ratio and different orientation angles", Al-Azhar Engineering Ninth International conference (AEIC), Cairo, Egypt, 2007, APRIL 12-14.

[5] Sturt W. Churchill and Hmbet H.s.CHU. "Corrlating Equation for laminar and turbulent free convection from a horizontal cylinder" Int. J. Heat & Mass Transfer Vol.103, pp522- 532, 1981.

[6] Sparrow E.M. and Chrysler "Natural Convection heat transfer coefficient for a short horizontal cylinder attached to a vertical plate", transaction of ASME Vol. 103, PP 630-637, 1981.

[7] Hassan. K. Abdullah "Improved heat transfer from horizontal finned tube between two adiabatic walls"

مجلة أبحاث اليرموك (سلسلة العلوم الأساسية والهندسية ) ، جامعة اليرموك ، الأردن ، المجلد السابع ، العدد الأول ص 80-65 ، 1998 .

[8] S. R. Kim" An experimental Study of the Effect Vibration and Heat Flux on Heat Transfer Coefficient around a horizontal cylinder " Technical University of Szczecin, Department of heat Engineering al. Piastow 22, PL 92-325 Szczecin, Poland, 2007.

[9] د.زينة خليفة كاظم وفادي رياض شمعون"دراسة عملية لتأثير الاهتزازات على معامل إنتقال الحرارة بالحمل القسري من اسطوانة مزعفة حلقيًا"، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، الجامعة التكنولوجية، المجلد 28، العدد 17 ، (2010).

### الاستنتاجات :

في ضوء تحليل نتائج البحث أمكن التوصل إلى الاستنتاجات التالية :

1- هز الاسطوانة المزعفة حلقياً في تيار هوائي يؤدي إلى زيادة معامل انتقال الحرارة نسبة إلى عدم وجود الاهتزاز.

2-يقبل معامل انتقال الحرارة بزيادة زاوية الميل ويكون بأعلى قيمة له عندما تكون  $(\theta=0^\circ)$  .

3- درجات الحرارة على طول الإسطوانة تقل بزيادة سعة الاهتزاز ولزوايا الميل كافة.

4- السعات الإهتزازية الصغيرة محدودة التأثير في الطبقة المتأخمة الحرارية ، ومن أجل تحسين معامل انتقال الحرارة يجب إختراق الطبقة المتأخمة الحرارية بسعات أهتزازية كبيرة .

5-يزداد معامل انتقال الحرارة بزيادة عدد رينولدز وتتباين الزيادة عند أعداد رينولدز العالية.

6- أن زيادة المساحة الكلية للشكل الهندسي للزعانف يزيد من معامل إنتقال الحرارة .

### المصادر:

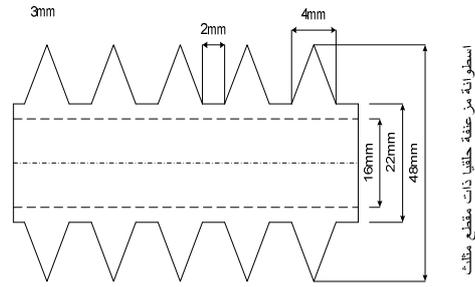
[1] Khan, W.A., Culham , J.R., and Yovanovich, M. M.,2005, "Fluid Flow and Heat Transfer from Elliptical Cylinders," J. Thermophys. Heat Transfer,19(2), pp.178-185; also present at AIAA 37<sup>th</sup> Thermophysics Conference, Portland , OR , June 29 – July 1, 2004.

[2] علي شعلان موحان ، "تحسين انتقال الحرارة بالحمل الحر من صف عمودي لاسطوانات أفقية موضوعة داخل مجرى أدبياتي" ، رسالة ماجستير، قسم هندسة المكنان والمعدات، الجامعة التكنولوجية، (1997).

[3]R.M. Fand and J. Kaye, "The Influence of vertical vibration on heat transfer by free convection from a horizontal cylinder "، Int. Dev. Heat Transfer, PP. 490-498, ASME (1961).

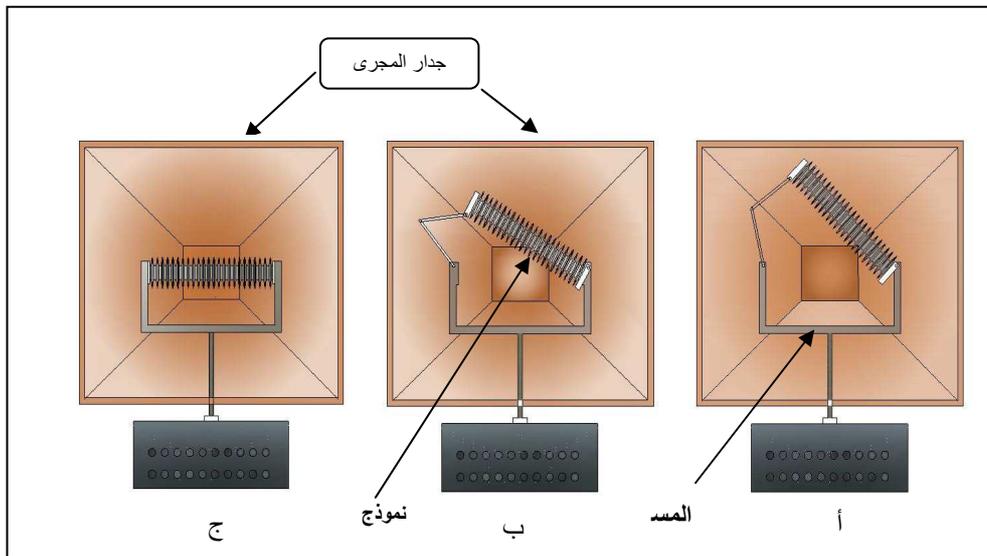


شكل (2) مقطع نموذج الاختبار.

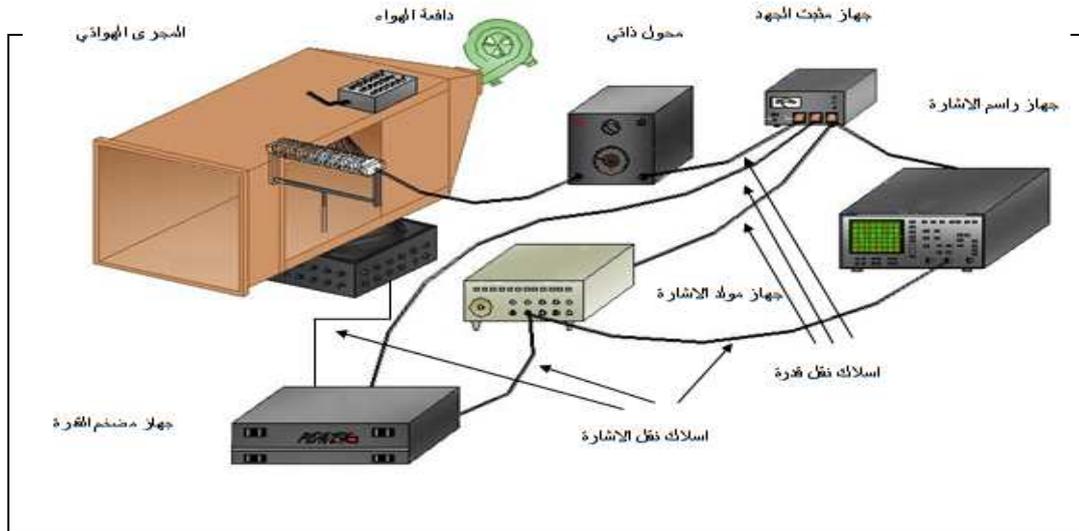


أسطوانة مزعفة حلقيًا ذات مقطع مثلث

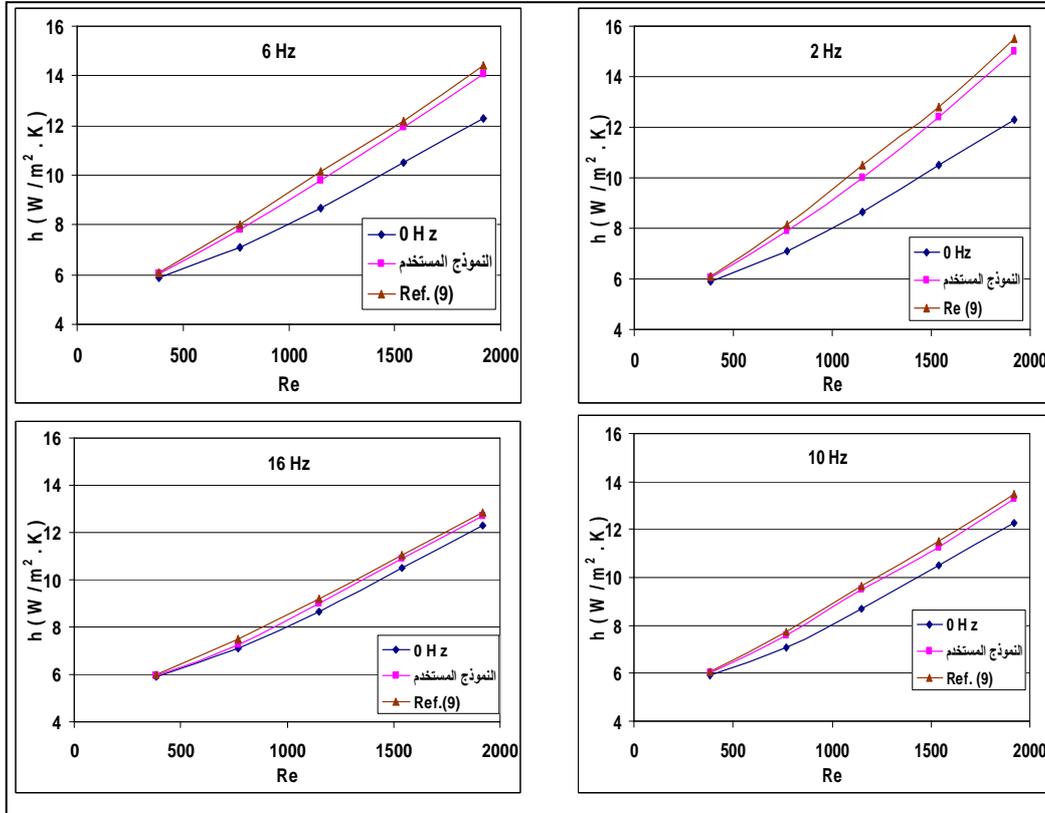
شكل (1) الاسطوانة المزعفة المستخدمة.



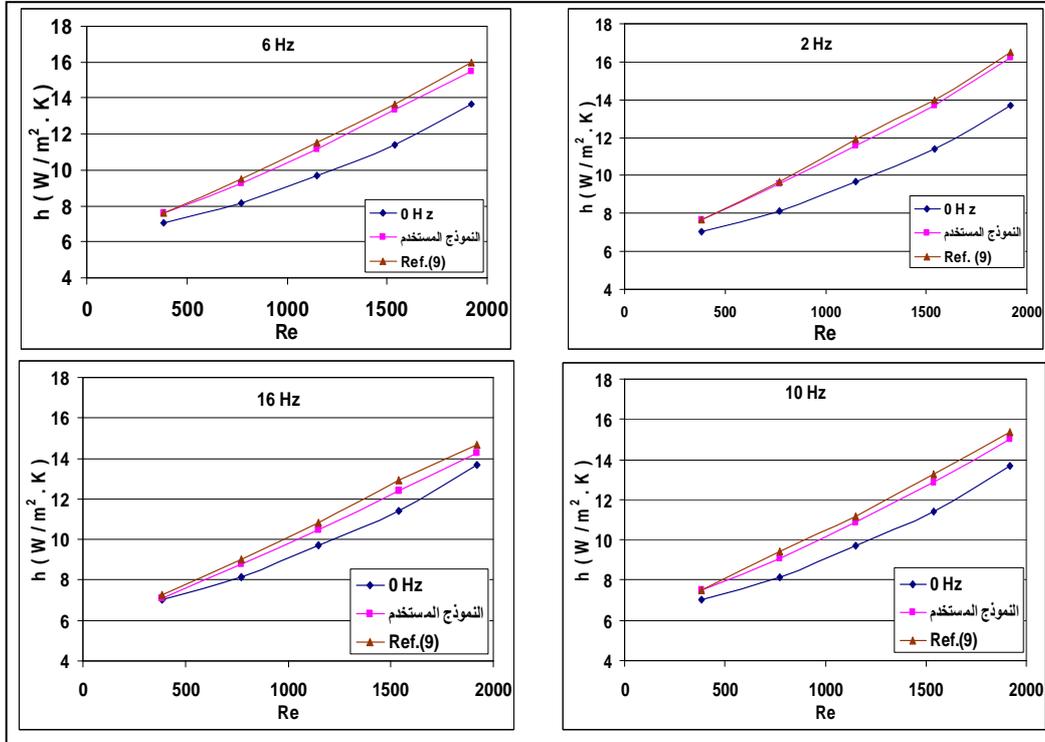
شكل (3) يوضح وضع نموذج الاختبار بالزوايا المختلفة.



شكل (4) مخطط لمنظومة الإختبار المستخدمة [9].

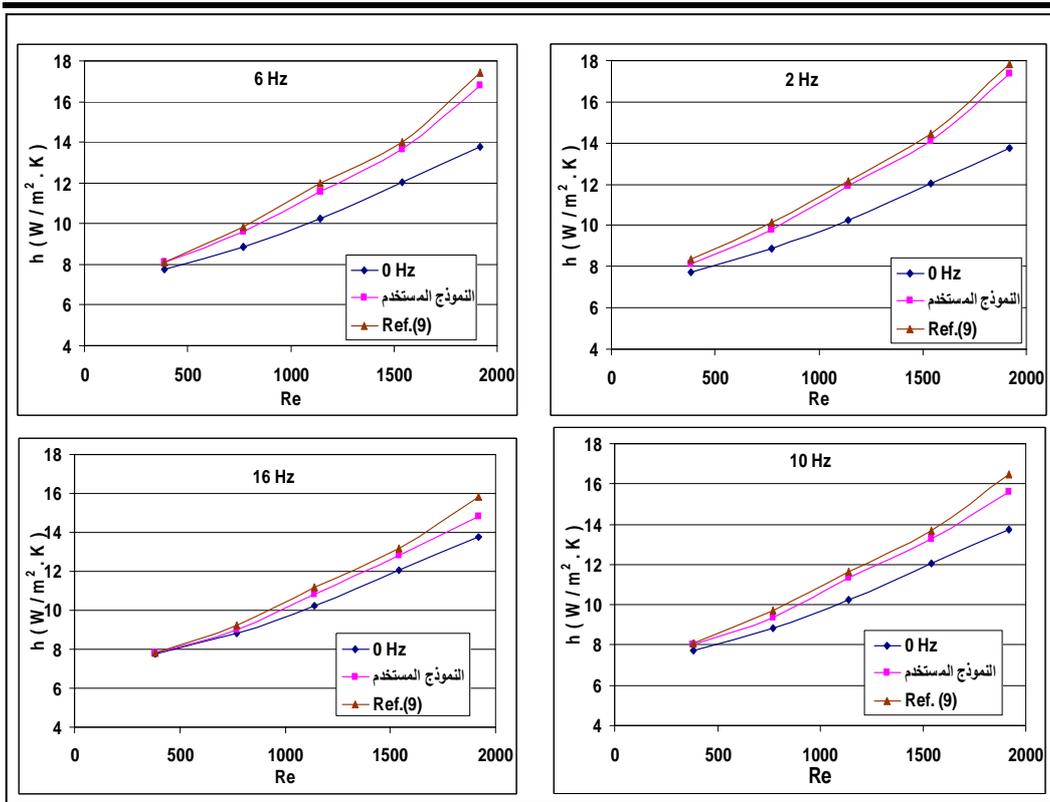


الشكل (5) معامل انتقال الحرارة مع وجود إهتزاز لفيض حراري ( $500 \text{ W/m}^2$ ) وزاوية ( $\theta=0^\circ$ ).

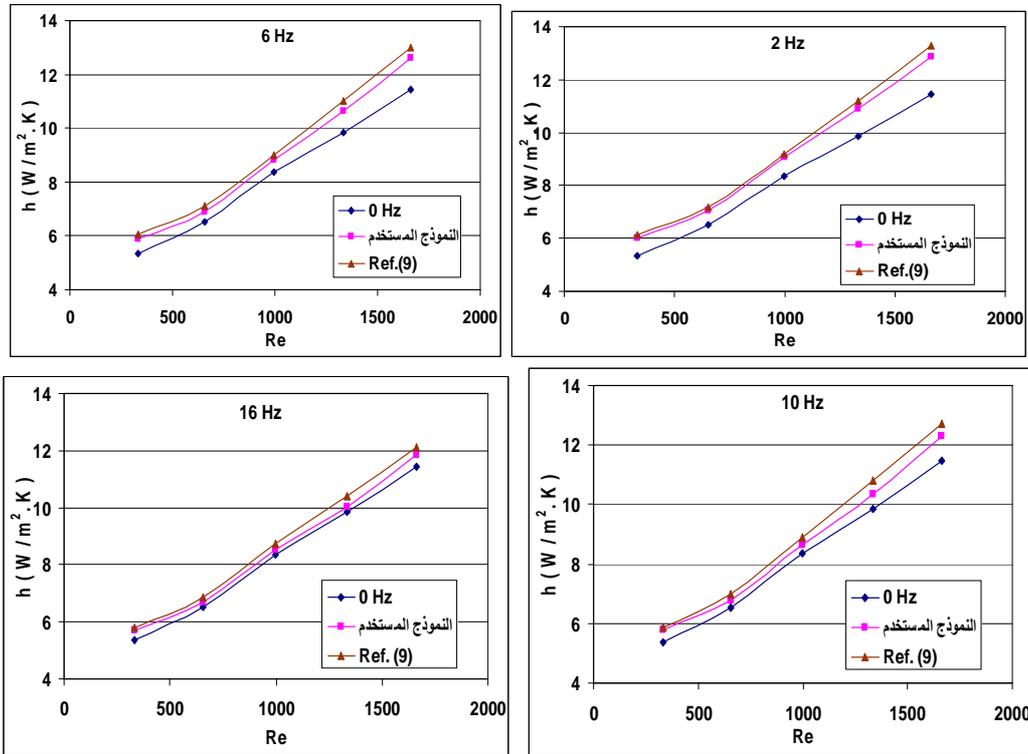


الشكل (6) معامل إنتقال الحرارة مع وجود إهتزاز لفيض حراري ( $1000 W/m^2$ ) ولزاوية  $(\theta=0^\circ)$ .

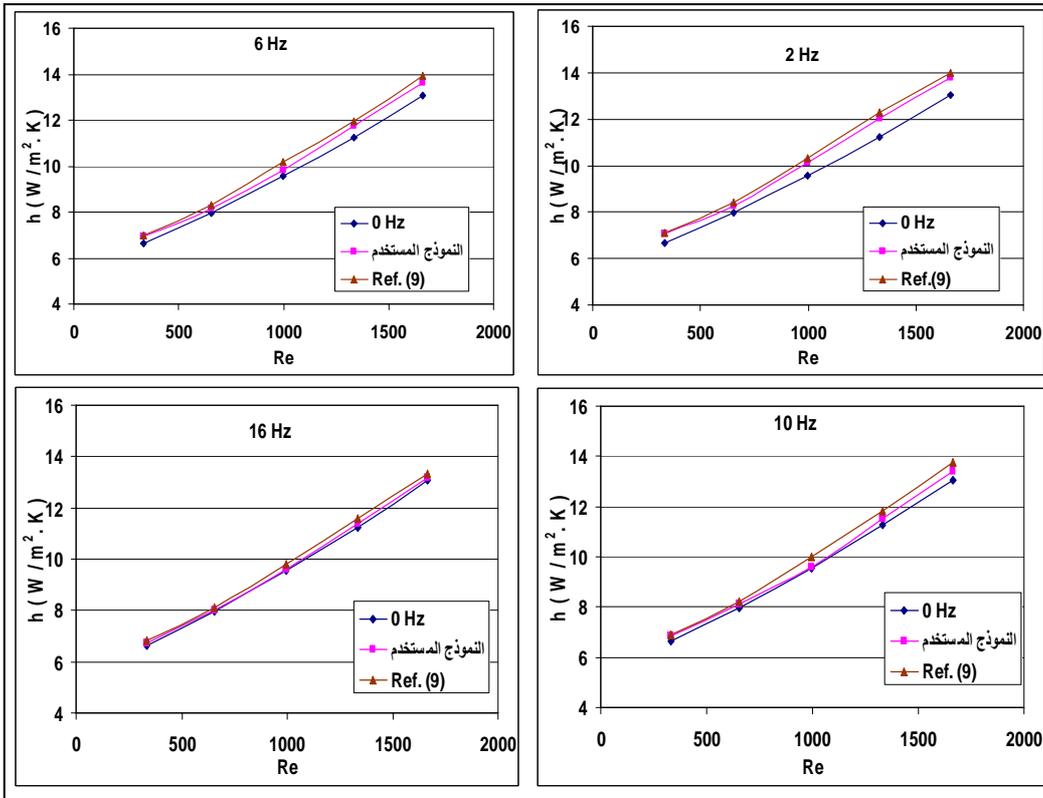
دراسة عملية لتأثير الشكل الهندسي والأهتزازات العمودية على  
معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري من أسطوانة مزعفة حلقيًا  
ذات مقطع مثلث الشكل



الشكل (7) معامل انتقال الحرارة مع وجود اهتزاز لفيض حراري ( $1500 W/m^2$ ) ولزاوية ( $\theta=0^\circ$ ).

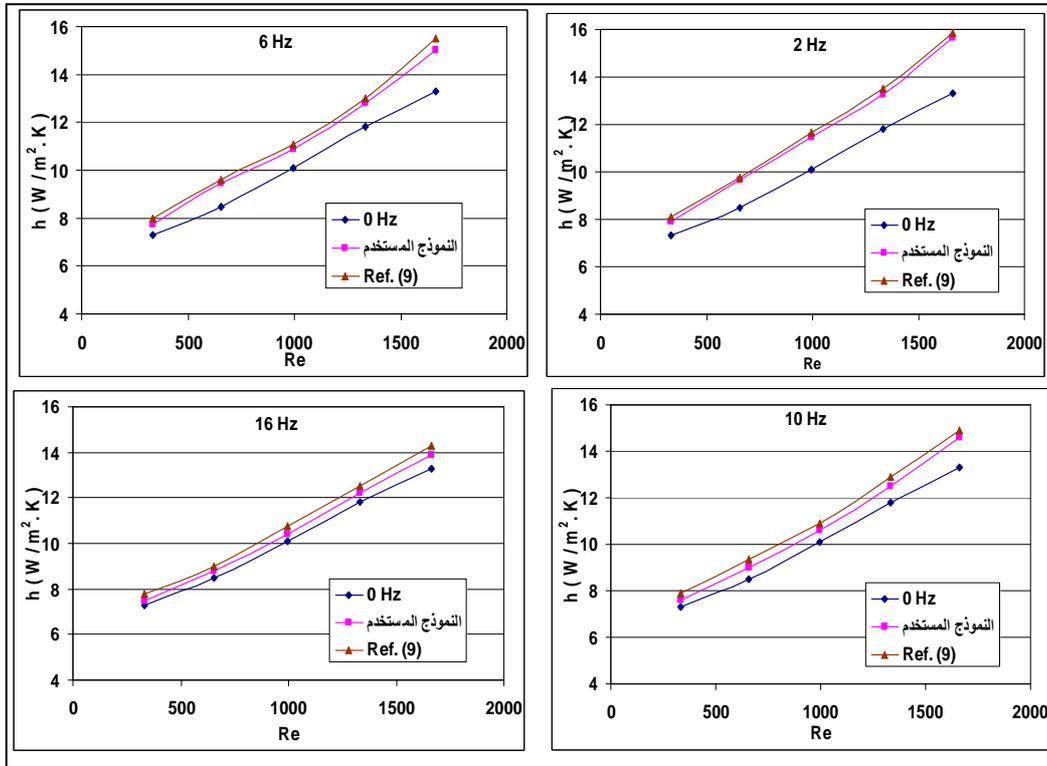


الشكل (8) معامل انتقال الحرارة مع وجود اهتزاز لفيض حراري ( $500 W/m^2$ ) ولزاوية ( $\theta=30^\circ$ ).



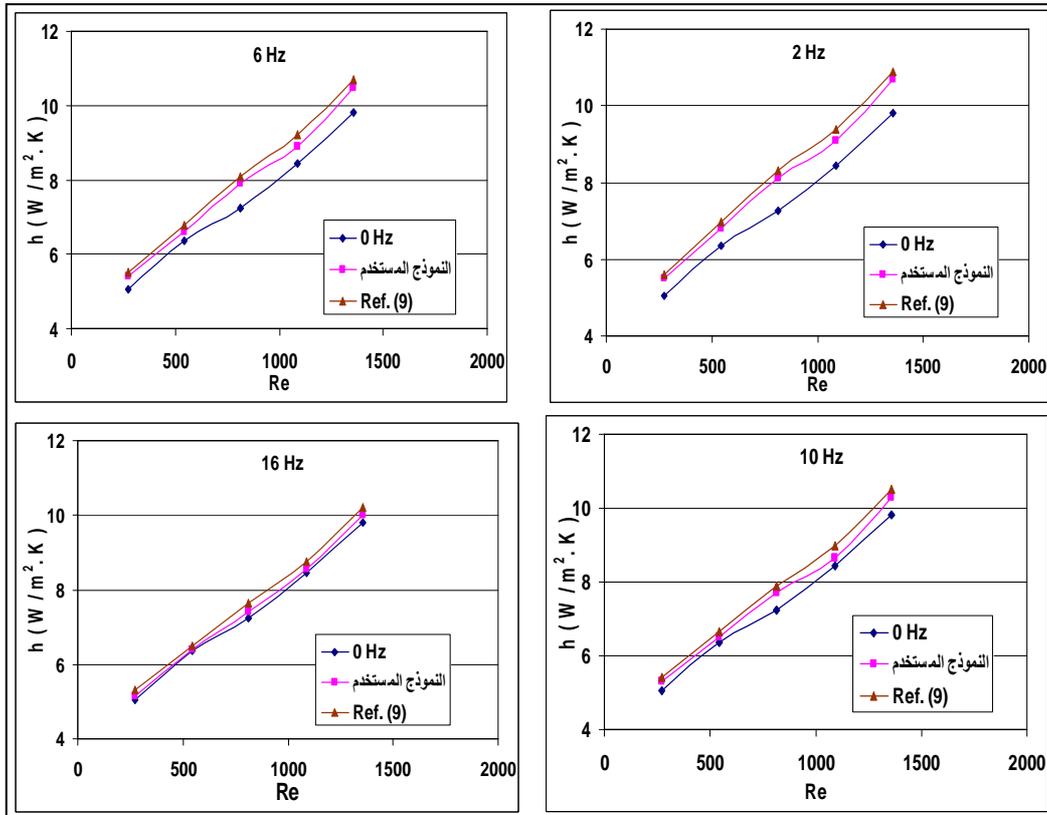
الشكل (9) معامل إنتقال الحرارة مع وجود إهتزاز لفيض حراري ( $1000 W/m^2$ ) ولزاوية ( $\theta=30^\circ$ ).

دراسة عملية لتأثير الشكل الهندسي والأهتزازات العمودية على  
معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري من أسطوانة مزعفة حلقيًا  
ذات مقطع مثلث الشكل

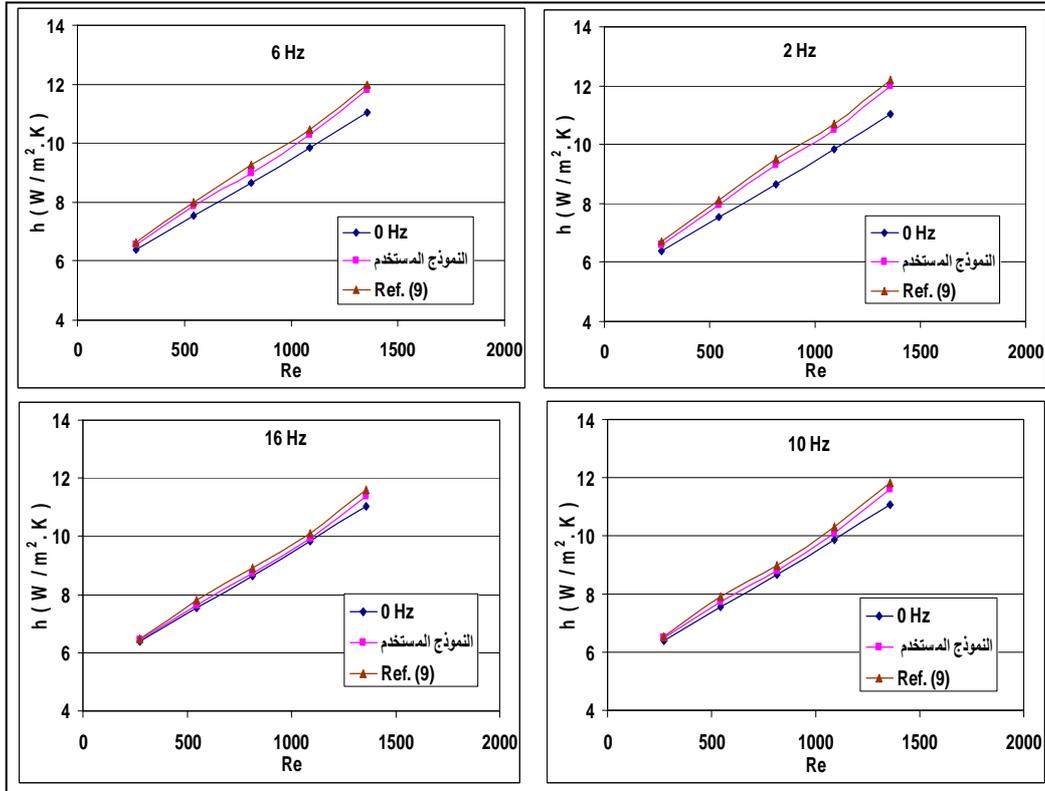


الشكل (10) معامل إنتقال الحرارة مع وجود إهتزاز لفيض حراري ( $1500 W/m^2$ ) ولزاوية ( $\theta=30^\circ$ ).

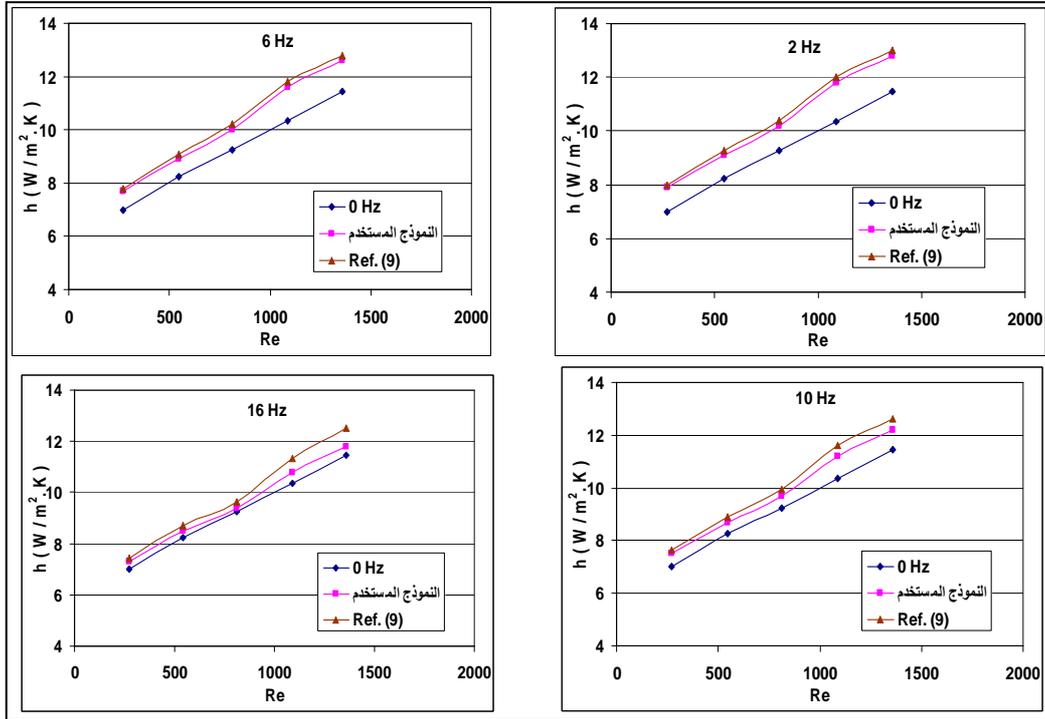
دراسة عملية لتأثير الشكل الهندسي والأهتزازات العمودية على معامل انتقال الحرارة بالحمل القسري من أسطوانة مزعفة حلقيًا ذات مقطع مثلث الشكل



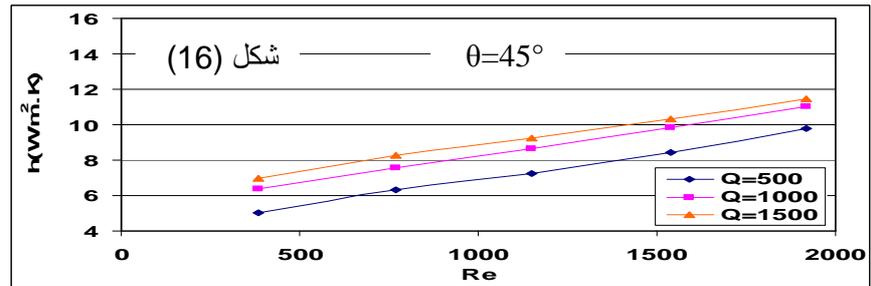
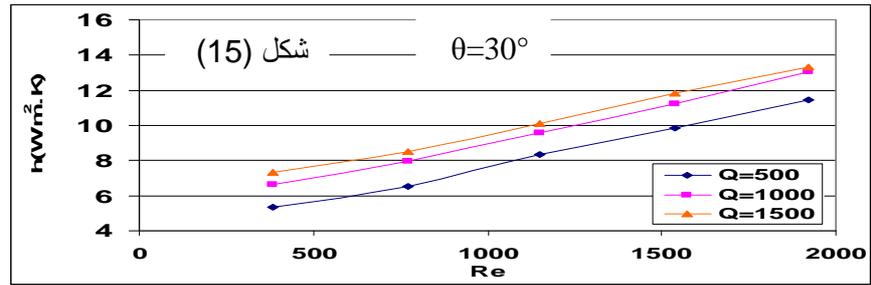
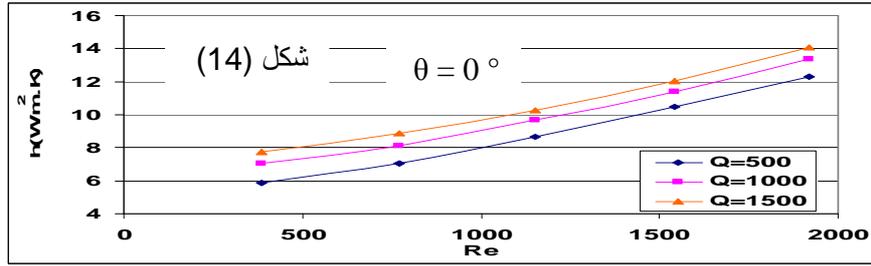
الشكل (11) معامل انتقال الحرارة مع وجود اهتزاز لفيض حراري ( $500 W/m^2$ ) ولزاوية  $(\theta=45^\circ)$ .



الشكل (12) معامل انتقال الحرارة مع وجود اهتزاز لفيض حراري ( $1000 W/m^2$ ) ولزاوية ( $\theta=45^\circ$ ).



الشكل (13) معامل انتقال الحرارة مع وجود اهتزاز لفيض حراري ( $1500 W/m^2$ ) ولزاوية ( $\theta=45^\circ$ ).



الأشكال (14، 15، 16) تبين علاقة معامل انتقال الحرارة الإجمالي مع عدد رينولدز لزاويا  $(\theta=0, 30, 45^\circ)$ .