

## انتقال الحرارة بالحمل الحر لاسطوانة مزعنة طولياً موضوعة بزوايا ميل مختلفة داخل مجرى هوائي أدبياتي

سليم خليفة كاظم\*

تاريخ الاستلام: 2009/2/4

تاريخ القبول: 2009 /10/1

### الخلاصة

تضمن هذا البحث دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانتين ذات زعانف طولية مستطبية المقطع ومثلثة المقطع (8 زعنة) باستخدام الهواء كوسط ناقل للحرارة موضوعتين داخل مجرى هوائي أفقي مستطيل المقطع مفتوح من الأمام والخلف إلى الهواء الخارجي، ولمعرفة الخواص الحرارية تم وضع النماذج في وضع يمكن الحصول من خلاله على زوايا ميل  $(0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ)$  عن الأفق ولمستوا فيض حراري  $(279, 1012, 1958, 3005, 4419) \text{ W/m}^2$  حيث تنتقل الحرارة بالحمل والإشعاع. وجد أن أعلى مقدار للحرارة المنتقلة بالحمل من الاسطوانة ذات الزعانف المثلثة المقطع وبزاوية ميل قدرها  $(30^\circ)$  ولكلا النموذجين، ولمدى عدد رايلي  $(1.68 \times 10^7 - 3.46 \times 10^8)$

**الكلمات المرشدة:** انتقال الحرارة، الحمل الحر، أسطوانة مزعنة طولياً، زوايا ميل، داخل مجرى هوائي أدبياتي.

## Heat Transfer from Longitudinally Finned Cylinder with Different Inclination angles inside Adiabatic Duct

### Abstract

This study deals with heat transfer by free convection from the outer surface of two cylinders (Triangular & Rectangular shape finned cylinder 8-fins). The experimental work was conducted with air as a heat transport medium. The cylinders were fixed at horizontal rectangular duct and fixed at different inclination angles  $(0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ)$ . The heat fluxes were  $(279, 1012, 1958, 3005, 4419) \text{ W/m}^2$ . Where heat transferred by convection and radiation. The results show the heat transferred from the triangular finned cylinder is maximum at slop angle  $(30^\circ)$  and minimum at the slop angle  $(0^\circ)$  with the range from  $[Ra = (1.68 \times 10^7 - 3.46 \times 10^8)]$ .

### المقدمة

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 مثل زيادة المساحة

نتيجة للاستخدام الواسع للأنايبب المزعنة ذات المقاطع المختلفة في بعض الأجزاء المركبة للأجهزة الالكترونية والكهربائية وكذلك المبادلات الحرارية بجميع أشكالها وتطبيقاتها. لذا عند تطبيق مبادئ انتقال الحرارة بالحمل الحر لآبد من

واحد عند جميع الاسطوانات وبعد تلك النسبة ( $x/d > 3$ ) أصبح هناك تحسن واضح كلما كبرت. أما في حالة وجود الجدران أفضل نسبة باعية بين الاسطوانات ( $x/d = 7$ ) في حالة وجود الجدران ولجميع النسب الباعية.

أجرى الباحثون {Young, et al (2005) [3]} دراسة نظرية لانتقال الحرارة من زعفة مستطيلة المقطع باستخدام طريقة التحليل أحادي البعد وطريقة الفروق المحددة كما تم إجراء مقارنة بين الطريقتين وذلك من حساب الخطأ النسبي للخسائر الحرارية ودرجات الحرارة حيث قاما بتمثيلها على شكل معادلات بدلالة عدد بايوت والطول اللابعدية للزعفة حيث توصلوا إلى أن استخدام طريقة الفروق المحددة تعطي أفضل النتائج مقارنة بالطريقة الأخرى وكذلك نسبة الخطأ تقل بزيادة عدد العقد المستخدمة في حالة استخدام طريقة الفروق المحددة. كما قدم الباحثون {Moawed [4] (2007)} و {Ibrahim} دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح أنبوب بيضوي المقطع لتأثير النسبة الباعية (major/minor) من  $-1.046 \leq S/c \leq 1.046$  وزاوية توجيه الجريان ( $0^\circ - 90^\circ$ ) ولحدود قيم رايلي ( $1.13 \cdot 10^8 - 6.5 \cdot 10^5$ )، وجد 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 الباحثون {Ramadan, et al (2008) [5]} دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح أنبوب أفقي بيضوي المقطع حيث تمت التجارب العملية لقيم عدد رايلي تتراوح ( $1.12 \cdot 10^7 - 4.92 \cdot 10^7$ ) لتأثير نسبة باعية

السطحية بتقليل الحجم ، استخدام وسط ناقل مناسب يكون ذو سعة حرارية عالية، استخدام معدن ذي موصلية حرارية عالية (كالنحاس والألومنيوم)، و تغيير الشكل الهندسي للمبادل الحراري .

لذا درس العديد من الباحثين عملية انتقال الحرارة من اسطوانة بالحمل الحر ، حيث وجدوا علاقات تجريبية وعددية تحدد العلاقة ما بين عدد رايلي ( $Ra$ ) وعدد نسلت ( $Nu$ ).

أجرى الباحثان {Fand & Morris (1977) [1]} دراسة عملية لانتقال الحرارة من سطح اسطوانة أفقية مغمورة بالماء مره وفي الهواء مره وفي ثلاث أنواع من زيت السليكون. وتمت التجارب لقيم عدد رايلي ( $Ra$ ) تتراوح بين ( $2 \cdot 10^7 - 3 \cdot 10^2$ ) ولقيم براندتل ( $0 - 3090$ ) ، ومن خلال التجارب وجد علاقة تجريبية تشابه من حيث الشكل الرياضي ولكنها تختلف من حيث قيم الثوابت اعتماد على درجة الحرارة التي تم حساب الخواص الفيزيائية عندها

$$Nu_f = 1.53 Ra_f^{0.25} * Pr_f \quad (1)$$

حيث: -

$f =$  يشير إلى خواص المائع التي تم حسابها عند درجة حرارة الغشاء.

كما أجرى الباحث {Lkuo(1983)} [2] دراسة عملية من صف من الاسطوانات الأفقية في مجرى متغير النسبة الباعية لمرور الهواء. أجريت التجارب لنموذجي من الاسطوانات متغيرة الأقطار وبثبوت درجة الحرارة، وكما أجريت التجارب لحدود عدد كراشوف تتراوح بين ( $4 \cdot 10^4 - 4 \cdot 10^5$ ) - معتمد القطر الخارجي للاسطوانة في حساب الأرقام اللابعدية. حيث كانت النسبة الباعية تتراوح بين ( $s/d = 2 - \infty$ ) ونسبة الفصل بين الاسطوانات تتراوح بين ( $x/d = 2 - 10$ ) حيث وجد أن أفضل قيمة ( $x/d = 3$ ) عندما تكون ( $s/d = \infty$ ) حيث بلغة نسبة  $Nu_i/Nu_o$

خارجي ( $D_o = 48 \text{ mm}$ ) وتم عمل ثقب على طول النموذج بقطر ( $D_i = 16 \text{ mm}$ ) لوضع المسخن الكهربائي داخله . تم عمل الزعانف الطولية ذات المقطع المثلث بواسطة ماكينة التفريز لذا ألغيت المقاومة الحرارية بينها وبين الأنابيب حيث أن ارتفاع الزعنف ( $t = 13 \text{ mm}$ ) وبطول ( $L = 300 \text{ mm}$ ) وبعدد (8) زعنف للنموذج الأول موزعة على زاوية ( $45^\circ$ ) وبعدد (8) زعنف مستطيلة المقطع موزعة على زاوية ( $45^\circ$ ) على المحيط كما في الشكل رقم (1) . تم استخدام مسخن كهربائي قدرته (1) kW وتم الاختبار بتثبيت النماذج على مسند حديدي تم تصنيعه بشكل يمكننا من الحصول على زوايا الميل المحددة في البحث والتي تتراوح بين ( $0^\circ - 90^\circ$ ) عن الأفق، تم وضع النماذج مع المسند في داخل المجرى الهوائي مستطيل المقطع المفتوح من الأمام والخلف، ذو الجدارين المصنوعان من الخشب المضغوط حيث تكون المسافة الفاصلة بين الجدارين (100cm) وارتفاعه (90cm) وبعمق (120cm) .

#### الحسابات

لحساب خواص انتقال الحرارة بالحمل الحر من الأنابيب المزعفة وهي الحالة العملية والتطبيقية تم استخدام المعادلات المدرجة أدناه من (2) إلى (8) حيث تم حساب الحرارة المتولدة والحرارة المنتقلة بالإشعاع والحرارة المنتقلة بالحمل الحر وعددي نسلت و رايلي ودرجة الحرارة المجدلة ومعامل التمدد الحجمي.

$$Q_g = I * V \quad (2)$$

$$Q_g = Q_{conv} + Q_{rad} \quad (3)$$

$$Q_{conv} = h * A_t * (T_s - T_a) \quad (4)$$

$$Q_{rad} = s * A_t * e * (T_s^4 - T_a^4) \quad (5)$$

المتغيرات اللابعدية التي تمثل من عدد نسلت (Nu) وعدد رايلي (Ra) معرفة كما يلي

(major/minor) تتراوح بين ( $1 \leq b/c \leq 3$ ) ولنصف قطر هايدروليكي (6.4) وزاوية توجيه الجريان ( $0^\circ - 90^\circ$ ) أما الجزء النظري تم تحليله باستخدام الفروق المحددة (Finite Difference) وتأثير نسبة باعية ( $0.1 \leq b/c \leq 0.98$ ) ونصف قطر هايدروليكي (6.4 - 1.5) . توصل الباحثون إلى أن قيمة نسلت و رايلي يزداد بزيادة زاوية التوجيه وتكون الزاوية ( $90^\circ$ ) هي أفضل زاوية توجيه للجريان وكذلك يزداد عدد نسلت بزيادة نسبة نصف القطر الهيدروليكي وعدم وجود تأثير للنسبة الباعية على عدد نسلت.

كما أجرى الباحثون {Atipoang, et al (2008)} [6] دراسة عملية حول تأثير زاوية الميل على أداء المبادل الحراري نو الأنابيب المزعفة بالحمل الحر، ذو عدد صفوف بين (4-1) ولمدى متغير من درجات حرارة الماء الداخل للمبادل الحراري ( $40, 60, 80$ ) $^\circ\text{C}$  بمعدل تدفق ثابت ( $1.5 \text{ L/min}$ ) وعند درجة هواء جوي ( $27^\circ\text{C}$ ) ولزوايا ميل بين ( $0^\circ - 90^\circ$ ) وقد توصل الباحثون إلى أن أفضل أداء للمبادل الحراري عندما تكون زاوية الميل بين ( $30^\circ - 45^\circ$ ) وكذلك تقل كفاءة المبادل الحراري بزيادة عدد صفوف الأنابيب .

بعد الإطلاع على نتائج البحوث السابقة ، تبين أن أي منها لم يتطرق إلى دراسة تأثير زاوية الميلان على معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر داخل مجرى هوائي ولغرض إيجاد الوضع الأفضل بزيادة كمية الحرارة المنتقلة لكثرة استخدام هذا الشكل من الأنابيب المزعفة في محطات الكهرباء الفرعية المدمجة وبعض الأجهزة الالكترونية الدقيقة المصنعة لهذا الشكل وتصميم المبادلات الحرارية.

#### نماذج الاختبار

نموذجي الاختبار المستخدم في التجارب العملية صممت بقياسات مطابقة للقياسات المستعملة عملياً في المسخنات وقد تم تصنيعها من الألمنيوم الصلب بقطر

نموذج الاختبار (8) زعفة مستطيلة داخل المجرى الهوائي:

$$q=0 \quad y=0.24097+0.1894 x$$

$$q=30 \quad y=-0.21475+0.2601x$$

$$q=60 \quad y=-0.3075+0.249 x$$

$$q=90 \quad y=0.01697+0.22315x$$

حيث أن:-

$$y = \text{Log}Nu \quad , \quad x = \text{Log}Ra$$

كما تم معالجة البيانات في هذه المنحنيات وذلك برسم قيمة الثابت الموجود في كل من المعادلات أعلاه مع الزاوية الخاصة به كما في الشكل (9) حيث أن العلاقة التي تربط هذا الثابت مع الزاوية بشكل عام هي

$$C = mq^n \quad (9)$$

وبالتعويض عن قيمة الثابت أصبحت المعادلة العامة لنماذج الاختبار للشروط الحدية ( $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ ) . كما يلي:-

أ- نموذج الاختبار 8 زعفة مستطيلة داخل المجرى الهوائي المستطيل المقطع:

$$Nu = 1.828195 * Ra^{0.230413} * q^{-0.1195} \quad (10)$$

ب- نموذج الاختبار 8 زعفة مثلثة داخل المجرى الهوائي المستطيل المقطع:

$$Nu = 1.491094 * Ra^{0.144825} * q^{-0.133} \quad (11)$$

حيث تتضمن تأثير الزاوية كدالة لعند نسلت وعدد رايلي.

2- توضح الأشكال (4-3) أن كمية الحرارة المنقلة بالحمل الحر تزداد بزيادة عدد رايلي (Ra) كما أننا نلاحظ هناك زيادة في كمية الحرارة عند زاوية ( $\theta = 30^\circ$ ) ونلاحظ عند ( $\theta = 60^\circ$ ) تكون الحرارة أقل ما يمكن وكذلك عند زاوية ( $\theta = 90^\circ$ ) ، ويعزى ذلك عندما يتم ميل

$$\left. \begin{aligned} Nu &= h * D_o / k \\ Ra &= \frac{b * g * D_o * (T_s - T_a) * \text{Pr}}{n^2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

أما خواص الهواء فقد تم حسابها عند معدل درجة حرارة سطح الأنابيب والهواء المحيط

$$T_f = \frac{T_a + T_s}{2} \quad (7)$$

ومقدار معامل التمدد الحجمي

$$b = \frac{1}{T_f} \quad (8)$$

إذ تم إجراء مقارنة للنتائج بين قيم عدد رايلي (Ra) وعدد نسلت (Nu) لكل نموذج اختبار ولكل زاوية محددة في البحث.

#### النتائج والمناقشة

بعد إجراء التجارب العملية لقيم عدد رايلي تتراوح بين ( $1.68 * 10^7$  -  $3.46 * 10^8$ ) ولقيص حراري مختلف يتراوح بين (279.24 - 4418.84)  $W/m^2$  ولزوايا ميل عن المحور الأفقي تتراوح بين ( $0^\circ$  -  $90^\circ$ ). تم حساب قيم عدد نسلت (Nu) وعدد رايلي (Ra) لكل حالة من الحالات أعلاه ورسمها لكل نموذج اختبار كما في الأشكال (3,4) على التوالي حيث أظهرت النتائج ما يلي :-

1- أن علاقة عدد (Nu) مع عدد (Ra) لا يمكن تمثيلها بخط مستقيم لذا تم استخدام معادلات لوغاريتميه و أعطت نتائج مقبولة جداً وكانت المعادلات الخاصة لكل منحنى ولكل نموذج حسب الشروط الحدية كما يلي :-  
نموذج الاختبار (8) زعفة مثلثة داخل المجرى الهوائي:

$$q=0 \quad y=0.03902+0.2008x$$

$$q=30 \quad y=0.377+0.165 x$$

$$q=60 \quad y=-1.024+0.282 x$$

$$q=90 \quad y=-0.3512+0.214 x$$

$$Nu = 1.828 * Ra^{0.230413} * q^{-0.1195} \quad (12)$$

ب- نموذج الاختبار 8 زعفة مثلثة المقطع داخل المجرى الهوائي:

$$Nu = 1.491 * Ra^{0.144825} * q^{-0.133} \quad (13)$$

2- معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر يكون أعلى في حالة الاسطوانة ذات (8) زعفة مثلثة المقطع عما في الاسطوانة ذات (8) زعفة مستطيلة المقطع.

3- معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر أعلى ما يمكن عند  $(\theta=30^\circ)$  واقل ما يمكن عند  $(\theta=60^\circ)$  داخل المجرى الهوائي.

#### المصادر

- [1] Fand. B.M., Morris. E.WI. and Lum "Natural convection heat transfer from horizontal cylinder to air, water and silicone oil for Rayle numbers between  $3*10^2$  and  $2*10^7$ " Int.J.Heat.Mass transfer Vol.20,pp1173 - 1184,1977.
- [2] Lkuo Tokura and Others" An Experimental study of free convection heat fare from a horizontal cylinder in a vertical array set in free space between parallel walls" Transaction of the ASME Vol.105,pp102 - 107, February 1983.
- [3] Young Min, Joo Suk and Hyung Suk"Analysis of a One-Dimensional method and the Finite difference method" J.KSIAM , Vol.9 ,No1,9189.2005.
- [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

النموذج بزواوية  $(30^\circ)$  فان القوة الرافعة للهواء تتناسب مع  $(\sin\theta)$  إي تكون المركبة العمودية للقوة الفعلية هي المؤثرة وتصبح أعلى ما يمكن، وفي حالة وضع النموذج بزواوية  $(\theta=90^\circ)$  أن الزعانف الطولية المثلثة و المستطيلة المقطع لنموذج الاختبار عندما يكون في وضع عمودي تعمل على سريان الهواء الساخن بشكل يكاد يكون منتظماً وتكون أقصى قوة رافعة للهواء في هذه الحالة ونتيجة لوضعه داخل المجرى الهوائي فأن المسافة بين الزعفة والسطح العلوي للمجرى تكون اقل ما يمكن عند  $(\theta=90^\circ)$  حيث تصبح المسافة (25cm) مما يؤدي ذلك إلى تسخين الزعانف داخل المجرى الهوائي وبالتالي يقل فرق درجات الحرارة بين الهواء المحيط ودرجة حرارة الزعفة ومن ثم تقل كمية الحرارة المنتقلة.

3- توضح الأشكال (8-7-6-5) مقارنة بين كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر لكل النموذجين ولكافة زوايا الميل  $(0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ)$  حيث أن كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر تزداد بزيادة عدد رايبي (Ra) كما أنها تصبح أعلى ما يمكن عند زاوية  $(\theta=30^\circ)$  واقل ما يمكن عند زاوية  $(\theta=60^\circ)$ . كما توضح الأشكال أن كمية الحرارة المنتقلة من نموذج الاختبار ذو (8) زعفة مثلثة المقطع أعلى من النموذج ذو (8) زعفة مستطيلة المقطع.

#### الاستنتاجات

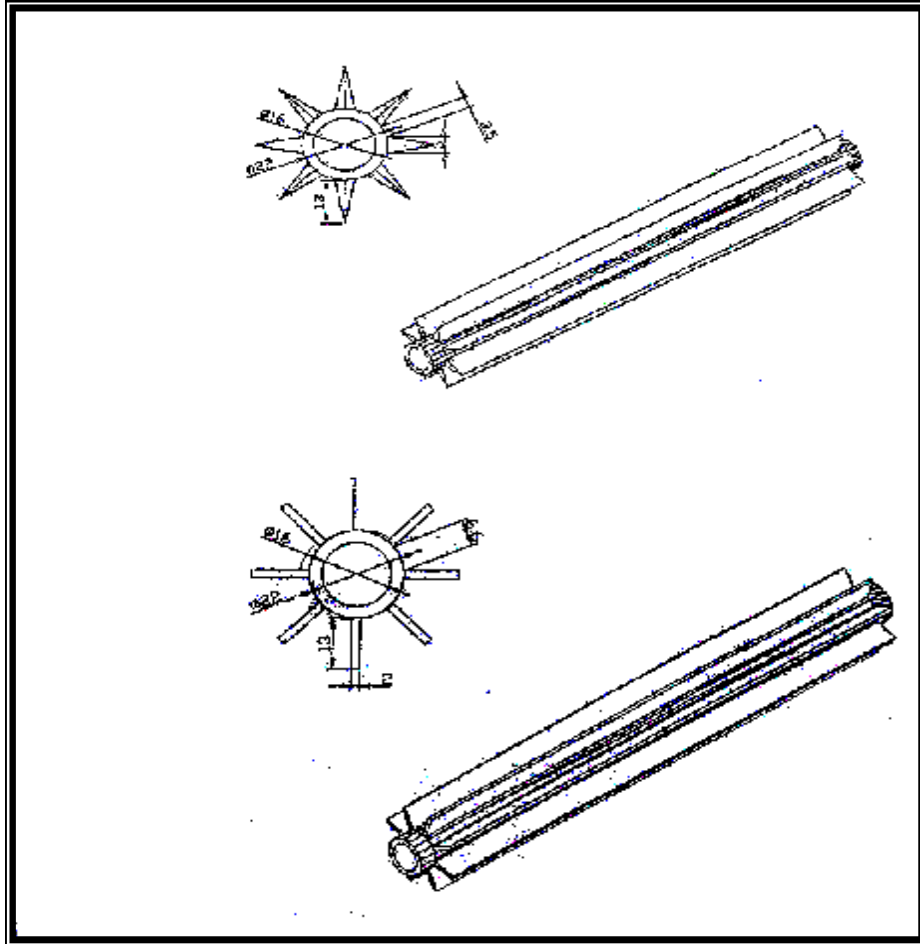
أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من خلال التجارب العملية لدراسة الخواص الحرارية لاسطوانة مزعفة طولياً ذات مقطع مثلث داخل مجرى هوائي وبعد معالجة هذه النتائج يمكن بناء الاستنتاجات الآتية :-

- 1- إن المعادلة التي تحكم العلاقة بين عدد (Nu) وعدد (Ra) لزوايا ميل مختلفة يمكن تمثيلها بالشكل الآتية :-
- أ- نموذج الاختبار 8 زعفة مستطيلة المقطع داخل المجرى الهوائي:

- [6] Atipoang, Sanparwat, Tanongkiat and Chi-Chuan" Effect of inclination angle on free convection thermal performance of louver finned heat exchanger" Int.J.Heat.Masstransfer40(3),pp533 -544,2008.
- International conference (AEIC), Cairo, Egypt, 2007, APRIL 12-14.
- [5] Ramadan Y.,Nabil S.,Ali A. and Abdalla"Experimetal Investigation of Natural convection heat transfer in horizontalelliptic" t.J.Chemical Reactor Engineering Vol.6,2008,Articale A45.

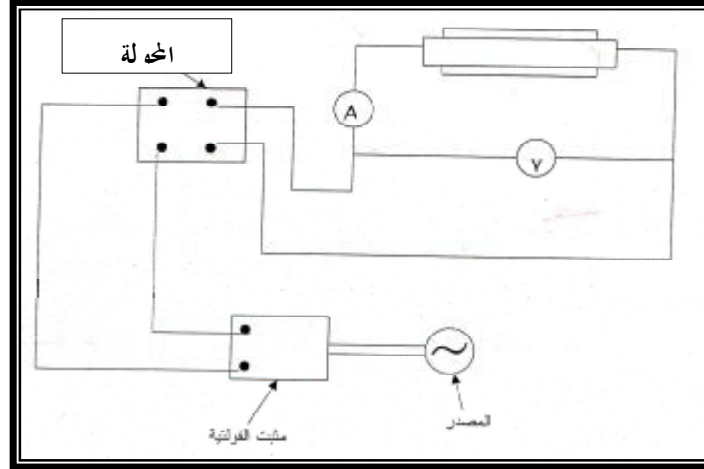
قائمة المصطلحات

الرمز	المعنى	الوحدات
$At$	المساحة الاجمالية	$m^2$
$Do$	القطر الخارجي للأنبوب المزعنف	$mm$
$Di$	القطر الداخلي للأنبوب المزعنف	$mm$
$Dp$	قطر الأنبوب الخارجي من دون زعانف	$mm$
$g$	التعجيل الأرضي	$m/s^2$
$h$	معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر	$W/m^2K$
$K$	معامل التوصيل الحراري	$W/mK$
$L$	طول الاسطوانة المزعنف	$mm$
$m$	اس عدد رايلي	
$n$	أس زاوية الميل للاسطوانة	
$Nu$	عدد نسلت	
$Pr$	عدد برا ندتل	
$Q_{conv}$	معدل الحرارة المنتقلة بالحمل	$W$
$Q_q$	معدل الحرارة المفقودة إلى الهواء	$W$
$Q_{rad}$	معدل الحرارة المنتقلة بالإشعاع	$W$
$Ra$	عدد رايلي	
$T_a$	درجة حرارة الهواء	$K$
$T_f$	درجة حرارة الغشاء	$K$
$T_s$	درجة حرارة السطح	$K$
$T_o$	درجة حرارة قاعدة الزعنفة	$K$
$t$	ارتفاع الزعانف الطولية	$mm$
$b$	معامل التمدد الحجمي	$1/K$
$e$	الانبعاثية	
$s$	ثابت ستيفن-بولتزمان	$W/m^2K^4$
$u$	اللزوجة الكينماتية	$m^2/s$
$Lc$	الطول المميز	$m$

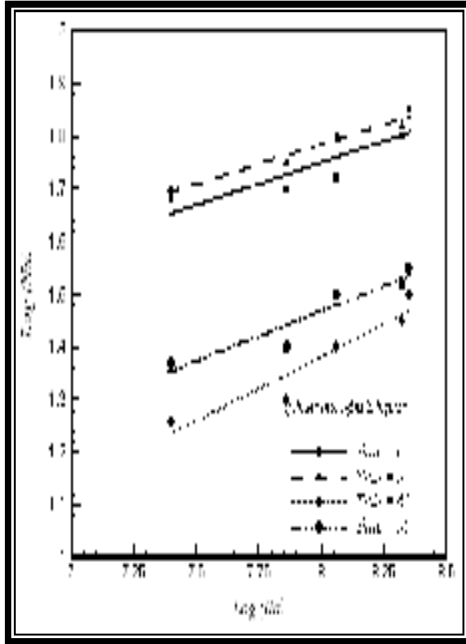


شكل (1) يبين الأشكال المجسمة لمقاطع الاختبار

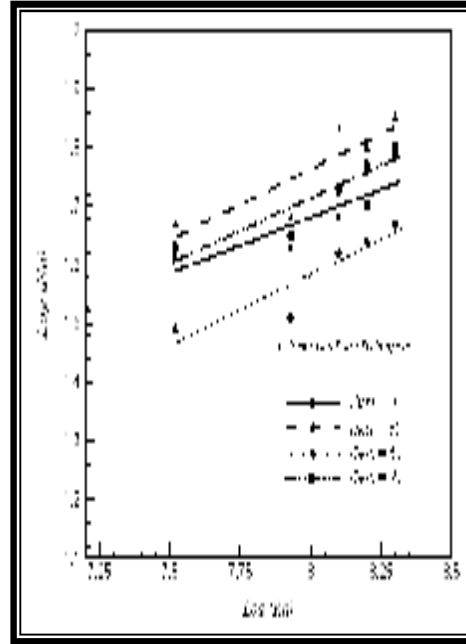




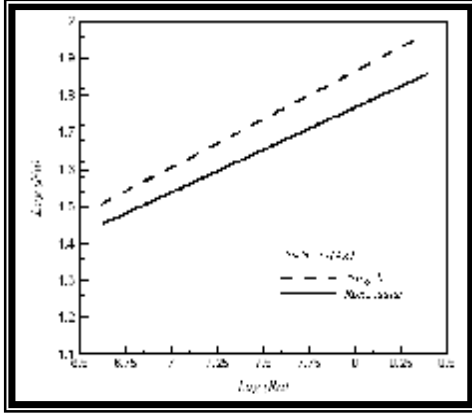
شكل (2) يوضح الدائرة الكهربائية لجهاز الاختبار



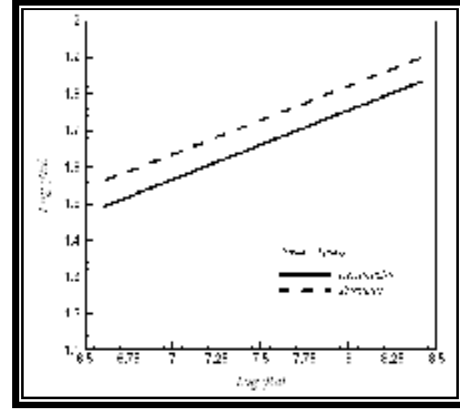
شكل (4) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد (Ra) لمختلف زوايا الميلان لاسطوانة محززة طولياً مستطيلة المقطع



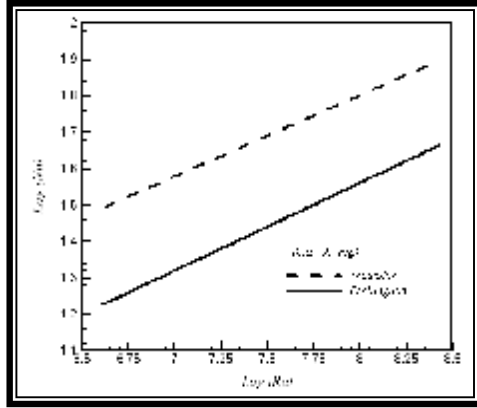
شكل (3) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد (Ra) لمختلف زوايا الميلان لاسطوانة محززة طولياً مثلثة المقطع للحيز الصغير



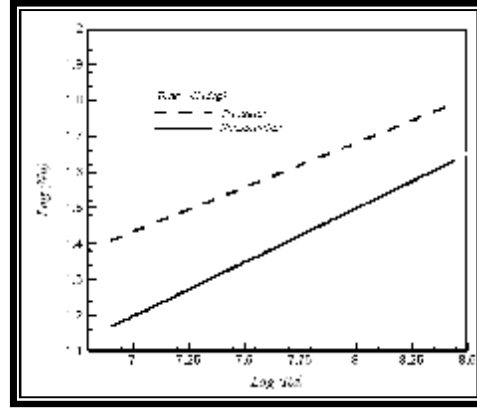
شكل (6) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد (Ra) لنماذج الاختبار عند زاوية  $30^\circ$



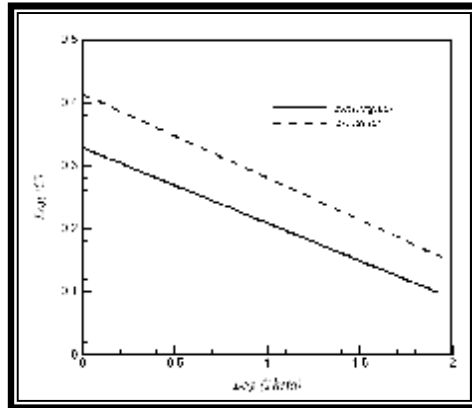
شكل (5) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد (Ra) لنماذج الاختبار عند زاوية  $0^\circ$



شكل (8) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد (Ra) لنماذج الاختبار عند زاوية  $90^\circ$



شكل (7) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد (Ra) لنماذج الاختبار عند زاوية  $60^\circ$



شكل (9) يبين العلاقة بين زاوية الميلان والقيمة اللوغاريتمية للثابت