دراسة تأثير الشكل الهندسي لاسطوانة مزعنفة طولياً وبزوايا ميل مختلفة على معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر

سليم خليفة كاظم*

تاريخ التسليم : 2004/8/14
تاريخ القبول :2005/4/17

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانة ذات زعانف طولية مستطيلة المقطع واسطوانة ذات زعانف طولية مثلثة المقطع باستخدام الهواء كوسط ناقل للحرارة لمعرفة الخواص الحرارية،تم وضع النماذج اعلاة بزوايا ميل مختلفة(0°,30°,60°,90°) عن الأفق ولمستوى فيض حراري (الدفق الحراري) W/m^2 (33820,21751, 12335,5570,1459) في حيز مفتوح إلى الهواء الخارجي حيث تنتقل الحرارة بالحمل والإشعاع.وقد وجد أن اكبر كمية حرارة منتقلة بالحمل من الاسطوانة ذات الزعانف المثلثة المقطع وبزاوية ميل قدرها (90°) ولمدى عدد رايلي (Ra) ($2.543*10^7 - 1.5098*10^8$)

The Effect of Geometry Form an Longitudinal Trihedron Cylinder with Different Slope Angle on the Free Convection Heat Transfer Coefficient

Abstract

This study deals with heat transfer by free convection from the outer surface of two cylinders (Triangular & Rectangular shape fined cylinder). The experimental work was conducted with air as a heat transport medium. The cylinders were fixed at different slope angles (0°, 30°, 60°, 90°) with heat dissipation of (33820, 21751, 12335, 5570, 1459) W/m^2. In an open medium to the atmospheric air where heat transferred by convection and radiation. The results show that heat transfer from the triangular finned cylinder is maximum at a slope angle (90°) and minimum at the slope angle (0°) with the range from [Ra = ($2.543*10^7 - 1.5098*10^8$)].

* قسم هندسة السيطرة والنظم / الجامعة التكنولوجية/ بغداد-العراق.

https://doi.org/10.30684/etj.24.7A.13
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

الرمز	المعنى	الوحدات
At	المساحةالاجمالية	m^2
Di	القطر الخارجي للانبوب المزعنف	mm
Do	القطر الداخلي للانبوب المزعنف	mm
Dp	قطر الانبوب الخارجي من دون زعانف	mm
g	التعجيل الارضي	m/s^2
h	معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر	$W/m^2 K$
k	معامل التوصيل الحراري	W/m K
L	طول الاسطوانة المزعنف	mm
m	اس عدد رايلي	
n	اس زاوية الميل للاسطوانة	
Nu	عدد نسلت	
Pr	عدد برانتل	
Q_{conv}	معدل الحرارة المنتقلة بالحمل	W
Q_q	معدل الحرارة المفقودة الى الهواء	W
Q_{rad}	معدل الحرارة المنتقلة بالاشعاع	W
Ra	عدد رايلي	
T_a	درجة حرارة الهواء	K
T_b	درجة الحرارة المجملة	K
T_s	درجة حرارة السطح	K
t	ارتفاع الزعانف الطولية	mm
β	معامل التمدد الحجمي	1/K
ε	الانبعاثية	
σ	ثابت ستيفن- بولتزمان	$W/m^2 K^4$
υ	اللزوجة الكينماتية	m^2/s

المقدمة

بالنظر للاستخدام الواسع للأنابيب المزعنفة ذات المقاطع المختلفة في المبادلات الحرارية بجميع أشكالها وتطبيقاتها مثل أجهزة التكييف المركزي بما تحتويه من مكثفات ومبخرات ومسخنات هواء . لذا عند تطبيق مبادئ انتقال الحرارة بالحمل الحر لابد 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 (علي شعلان 1997) [5] منها :-

* زيادة المساحة السطحية بتقليل الحجم (باستخدام الزعانف) .
* استخدام معدن ذي موصلية حرارية عالية (كالنحاس والألمنيوم) .
* استخدام أسلوب مناسب لانتقال الحرارة كالحمل القسري أو الجريان المتعاكس الذي يؤدي إلى زيادة الفقد الحراري .
* استخدام وسط ناقل مناسب يكون ذو سعة حرارية عالية .
* تغيير الشكل الهندسي للمبادل الحراري .

درس عدد من الباحثين عملية انتقال الحرارة من اسطوانة بالحمل الحر ، و أوجدوا علاقات تجريبية وعددية تحدد العلاقة ما بين عدد رايلي (Ra) وعدد نسلت (Nu)

أجرى الباحث[Stuart (1981)] [1]دراسة نظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح اسطوانة ملساء ولقيم عدد رايلي تتراوح بين الصفر إلى ما لانهاية اخذ بنظر الاعتبار منطقتين من الحمل الحر الطباقي والحمل الاضطرابي وقد توصل الباحث إلى بناء علاقة تتضمن اضافة عدد برا نتل إلى عدد [Nu,Ra] وكما يلي :

$$Nu=0.36+0.518[Ra/(1+(0.599(Pr)^{0.5625})^{16/n})] \quad (1)$$

حيث توصل الباحث أن قيمة الثابت (n) في المعادلة أعلاه تصبح مساوية إلى الرقم (4).

أجرى الباحثان (Sparrow & Chrysler (1981)) [2] دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانة أفقية قصيرة ملامسة لصفيحة مستوية عمودية بثبوت الفيض الحراري ولقيم عدد رايلي تتراوح بين ($1.4*10^4$ – $1.4*10^5$) وتغيير موقع الاسطوانة على مدى ثلاثة ارتفاعات من الصفيحة وتوصلا إلى علاقة تجريبية لجميع الحالات بالصيغة الاتية.

$$Nu = C.Ra^m \qquad (2)$$

أجرى الباحث (Yassen (1978)) [3] دراسة عملية على اسطوانة غير مزعنفة مائلة بتغير زاوية ميلانها بين (0^o – 90^o) إذ تكون أفقية عند الزاوية (90^o) مستخدماً في ذلك اسطوانتين قطر الأولى (38 mm) والثانية (47 mm) وكلتاهما بطول (955 mm) . التجارب أجريت بثبوت الفيض الحراري لقيم عدد رايلي تتراوح بين ($0.28*10^6$–$3.441*10^6$) وتوصل إلى العلاقة العامة الاتية :-

$$Nu=[0.665 - 0.4885(\sin\theta)]\, Ra^{[1/4 + (1/(12\sin\theta))]\,174} \qquad (3)$$

واستنتج أن وضع الاسطوانة بشكل شاقولي افضل ، إذ لاحظ تزايد لقيم معامل انتقال الحرارة بالحمل بزيادة الارتفاع إلى حد معين ثم يبداء بالانخفاض .

و أجرى الباحث (Hassan (1998)) [4] مجموعة من التجارب على أنبوب مزعنف ذي زعانف مربعة الشكل ، مثبت أفقيا في مجرى عمودي بين 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 الاتية:-

$$Nu/Nu_f = a + b.\, Ra + c.\, Ra^2 + d.\, Ra^3 \qquad (4)$$

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

و أجرى الباحث (علي شعلان (1997)) [5] دراسة عملية على صف من الاسطوانات المزعنفة حلقياً تفصل بينهما مسافة متغيرة المقدار (X) والتي تتغير بأضعاف قيمة قطر الزعنفة الخارجي حيث تراوحت بين (X = (2-8) D) ولمدى عدد رايلي يتراوح بين ($1.5*10^6$ – $6*10^6$) وقد توصل الباحث إلى أن إضافة الزعانف إلى الاسطوانات تؤدي إلى تحسين الفقد الحراري من سطحها إذ أن وجود الزعانف يظهر تأثيراً تبريدياً عند نسبة مسافة فاصلة (X= 4d) ، يماثل نفس التأثير لو كانت الاسطوانات بدون زعانف عند (X=7d) وبهذا قلل من حجم المبادل الحراري بالاسطوانات المزعنفة إلى نصف حجم المبادل الحراري بالسطح الأملس .

كما أجرى الباحثون (حسن كريم ، زينة خليفة ، أركان فوزي) (2000) [6] دراسة عملية لمعرفة تأثير زاوية ميل اسطوانة مزعنفة حلقيا على انتقال الحرارة بالحمل الحر في حيز مفتوح لمدى عدد رايلي يتراوح بين ($9.86*10^4$ – $49.6*10^4$) ولمستويات فرق جهد تتراوح بين (20 – 100) فولت ولزوايا ميل تتراوح بين (0^o – 90^o) وقد توصلا إلى أن الاسطوانة المزعنفة حلقياً تعطي أعلى كمية حرارة منتقلة عند الزاوية (0^o) أي في الوضع الأفقي وقد أوجدا المعادلة التجريبية التالية:-

$$Nu = C.\,(\theta)^n.\,(Ra)^m$$

$C = 0.054$

$n = -0.097$

$m = 0.592$

(وللشروط الحدية $1^o \le \theta \le 89^o$ حيث أن الزاوية بالدرجات).

أجرت الباحثة (زينة خليفة (2000)) [7] دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانة ذات زعانف حلقية مستطيلة

ومثلثة المقطع ومقارنتها مع اسطوانة غير مزعنفة ولزوايا الميل المستخدمة في المصدر [6] ولمستويات حرارية (33820,21751,12335,5570,1459)W/m^2 وقد توصلت إلى أن أعلى كمية حرارة منتقلة بالحمل من الاسطوانة ذات الزعانف الحلقية المثلثة المقطع وبزاوية ميل مقدارها (0^o) ولمدى عدد رايلي يتراوح بين($4.9*10^6 - 10.4*10^3$) .

بعد الاطلاع على نتائج البحوث السابقة ، تبين ان أي منها لم يتطرق الى دراسة تأثير زاوية ميل اسطوانة مزعنفة طوليا على معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر ولغرض أيجاد الوضع الأفضل بزيادة كمية الحرارة المنتقلة استخدام هذا الشكل من الأنابيب المزعنفة.

نماذج الاختبار:

يوضح الشكل (1) أنموذجي الاختبار المستخدمين بشكل مجسم حيث صممت بقياسات مطابقة للقياسات المستعملة عمليا في المسخنات وقد تم تصنيعها من الألمنيوم الصلد بقطر خارجي (D_o =48 mm) وتم عمل ثقب على طول النموذج بقطر (D_i= 16 mm) لوضع المسخن الكهربائي داخله . تم عمل الزعانف الطولية ذات المقطع المثلث بواسطة ماكنة التفريز لذا ألغيت المقاومة الحرارية بينها وبين الأنبوب حيث أن ارتفاع الزعنفة (t= 13 mm) وبطول (L = 300 mm) وبعدد (8) زعنفة للنموذج الأول موزعة على زاوية (45^o) وبعدد (8) زعنفة مستطيلة المقطع موزعة على زاوية (45^o) على المحيط . تم استخدام مسخن كهربائي قدرته (1) كيلو واط وتم الاختبار بتثبيت النماذج على مسند حديدي تم تصنيعه بشكل يمكننا من الحصول على زوايا الميل المحددة في البحث والتي تتراوح بين ($0^o - 90^o$) عن الأفق .

الحسابات:

لحساب خواص انتقال الحرارة بالحمل الحر من الأنابيب المزعنفة وهي الحالة العملية والتطبيقية تم استخدم المعادلات المدرجة أدناه من (5) إلى (11) حيث تم حساب الحرارة المتولدة والحرارة المنتقلة بالإشعاع والحرارة المنتقلة بالحمل الحر وعددي نسلت و رايلي ودرجة الحرارة المحلة ومعامل التمدد الحجمي.

$$Q_q = I * V \quad (5)$$

$$Q_q = Q_{conv.} + Q_{rad.} \quad (6)$$

$$Q_{conv.} = hA_t\ (T_s - T_a) \quad (7)$$

$$Q_{rad.} = \sigma . A_t . \in (T_s^4 - T_a^4) \quad (8)$$

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

$$Nu = h D_o / k$$

$$Ra = (\beta * g * D_o^3 (T_s - T_a) / \nu^2) * P_r \quad (9)$$

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

$$T_b = (T_a + T_s)/2 \quad (10)$$

ومقدار معامل التمدد الحجمي

$$\beta = 1/T_b \quad (11)$$

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

النتائج والمناقشة:

بعد أجراء التجارب العملية لقيم عدد رايلي تتراوح بين ($2.543*10^7 - 1.5098*10^8$) ولفيض حراري مختلف يتراوح بين (510 – 22) واط ولزوايا ميل عن المحور العمودي تتراوح بين ($90^o - 0^o$). تم حساب قيم عدد نسلت (Nu) وعدد رايلي (Ra) لكل حالة من الحالات أعلاه ورسمها لكل أنموذج اختبار كما في الأشكال (2,3) على التوالي حيث أظهرت النتائج ما يلي :-

1- أن علاقة عدد (Nu) مع عدد (Ra) لا يمكن تمثيلها بخط مستقيم لذا تم استخدام معادلات لوغارتميه و أعطت نتائج مقبولة

جداً وكانت المعادلات الخاصة لكل منحنى ولكل نموذج حسب الشروط الحدية كما يلي :-

أنموذج الاختبار (8) زعنفة مثلثة المقطع:

$\theta = 0^o$ Y= 1.40399 X - 2.25759

$\theta = 30^o$ Y=1.48083X – 2.40391

$\theta = 60^o$ Y=1.49397X– 2.42405

$\theta = 90^o$ Y=1.50816 X – 2.44565

أنموذج الاختبار (8) زعنفة مستطيلة المقطع:

$\theta = 0^o$ Y=1.76686 X – 3.03874

$\theta = 30^o$Y= 1.76417 X – 3.0181

$\theta = 60^o$Y=1.67471X – 2.82292

$\theta = 90^o$ Y=1.64845X– 2.75683

حيث ان:

Y=Log Nu, X=Log Ra

كما تم معالجة الحيود في هذه المنحنيات وذلك برسم قيمة الثابت الموجود في كل من المعادلات أعلاه مع الزاوية الخاصة به كما في الشكل (8) حيث أن العلاقة التي تربط هذا الثابت مع الزاوية بشكل عام هي

$$C = m(\theta)^n \qquad (12)$$

وبالتعويض عن قيمة الثابت أصبحت المعادلة العامة لنماذج الاختبار للشروط الحدية $(1^o \le \theta \le 90^o)$. كما يلي:-

أ- أنموذج الاختبار 8 زعنفة مستطيلة المقطع:

$$Nu=0.021(Ra)^{1.713} * 7.0345\theta^{0.46923} \qquad (13)$$

ب- أنموذج الاختبار 8 زعنفة مثلثة المقطع:

$$Nu=0.0397\ (Ra)^{1.471} * 9.58714\ \theta^{0.595429} \qquad (14)$$

حيث تحتوي على تأثير الزاوية كدالة لعدد نسلت و رايلي وبالتعويض عن مقدار الزاوية (θ) بما يساويها أعطت تطابق في القيم بنسبة خطأ لا تتجاوز (10 %).

2- توضح الأشكال (4,5,6,7) ان كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر تزداد بزيادة عدد رايلي (Ra) كما أنها تزداد بزيادة زاوية الميل حيث تصبح أعلى ما يمكن عند زاوية ($\theta = 90^o$) واقل ما يمكن عند زاوية ($\theta = 0^o$) ويعزى ذلك إلى أن الحزوز الطولية المثلثة والمستطيلة 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 أما في حالة ميل النموذج بزاوية (60^o , 30^o) فان القوة الرافعة للهواء تتناسب مع ($\sin\theta$) إي تكون المركبة العمودية للقوة الفعلية هي المؤثرة وفي حالة وضع النموذج بزاوية ($\theta = 0^o$) تعمل الزعانف عمل مصدات تعيق سريان الهواء مما يؤدي إلى اضطراب الجريان وبالتالي انخفاض معدل الفقد الحراري من الأنبوب وتسخين الزعانف نفسها كما توضح الأشكال أن كمية الحرارة المنتقلة من أنموذج الاختبار ذو (8) زعنفة مثلثة المقطع أعلى من النموذج ذو (8) زعنفة مستطيلة المقطع.

الاستنتاجات:

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

1- ان المعادلة التي تحكم العلاقة بين عدد (Nu) وعدد (Ra) لزوايا ميل مختلفة يمكن تمثيلها بالشكل الاتية :-

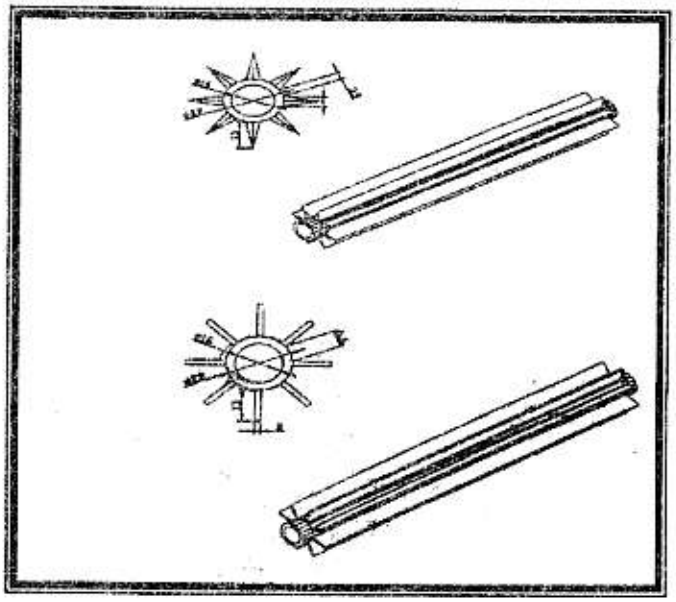
$$Nu=0.03\ (\theta)^{0.532} * (Ra)^{1.593}$$

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

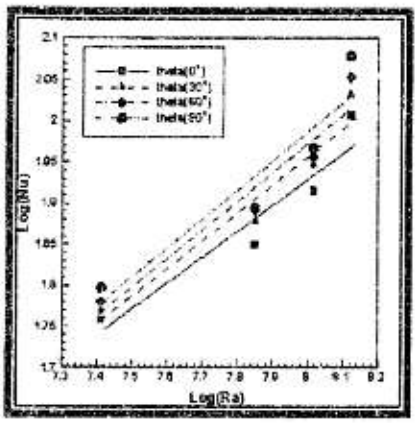
3- تأثير عدد رايلي (Ra) يكون اكبر من تأثير زاوية الميل لنموذجي الاختبار المستخدمة في البحث .

المصادر

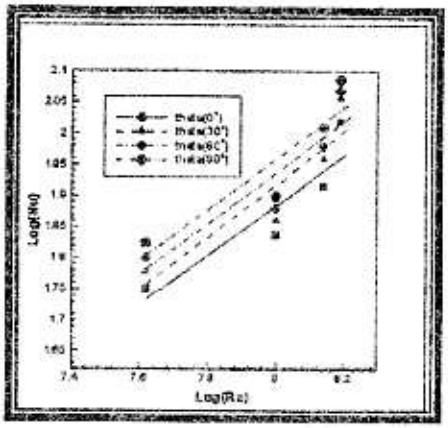
1. Sturt.W.Churchilf and Hmbet H.s.CHU."Corrlating Equation for laminar and turbulent free convection from a horizontal cylinder"Int.J.Heat&Mass Transfer Vol.103, pp522–532, 1981.
2. Sparrow E.M. and Chrysler "Natural Convection heat transfer coefficient for a short horizontal cylinder attached to a vertical plate", transaction of ASME Vol. 103, PP 630-637, 1981.
3. Yassen K. salman "Laminar natural convection heat transfer from the out side surface of an inclined cylinder", thesis M.Sc, University of Technology, 1978.
4. 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 1998، ص ص 65-80.
5. علي شعلان موحان "تحسين انتقال الحرارة بالحمل الحر من صف عمودي لاسطوانات أفقية مزعنفة موضوعة داخل مجرى أديباتي" . رسالة مقدمة إلى قسم هندسة المكائن والمعدات في الجامعة التكنولوجية، 1997 .
6. حسن كريم ، زينة خليفة ، أركان فوزي "دراسة تأثير زاوية ميل اسطوانة مزعنفة حلقيا على انتقال الحرارة بالحمل الحر في حيز مفتوح" مجلة التقني – هيئة المعاهد الفنية، 2000 .
7. زينة خليفة كاظم "دراسة تأثير زاوية ميل اسطوانة ذات زعانف مختلفة المقطع على انتقال الحرارة بالحمل الحر في حيز مفتوح" المؤتمر القطري الأول للهندسة الميكانيكية والمعادن وهندسة المواد / كلية الهندسة /جامعة الكوفة، 2000 .



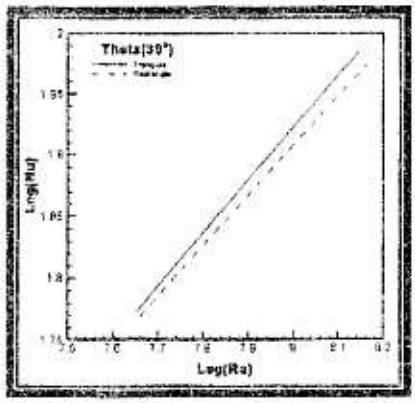
شكل(1) يبين الأشكال المجسمة لمقاطع الاختبار



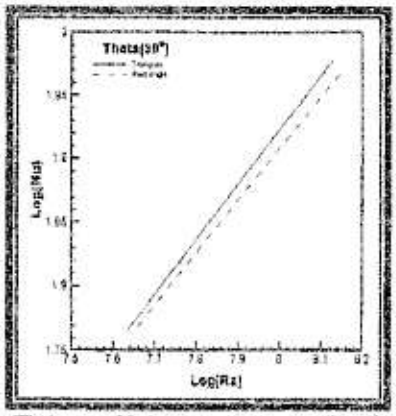
شكل (2) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد(Ra) لمختلف زوايا الميلان لاسطوانة محززة طولياً مثلثة المقطع



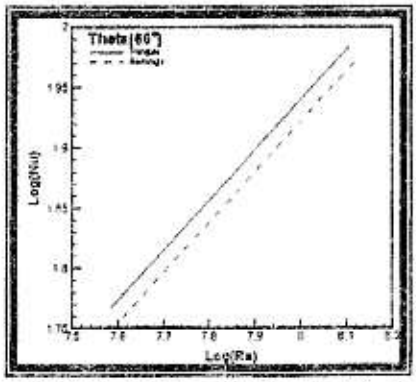
شكل (3) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد(Ra) لمختلف زوايا الميلان لاسطوانة محززة طولياً مستطيلة المقطع



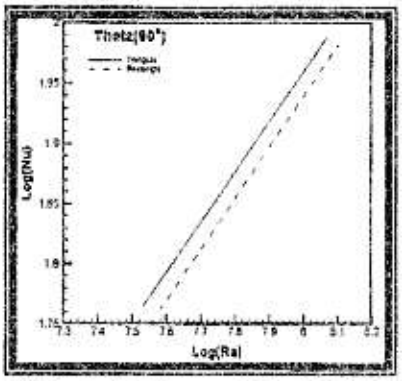
شكل (4) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد(Ra)
لمختلف نماذج الاختبار عند زاوية 0°



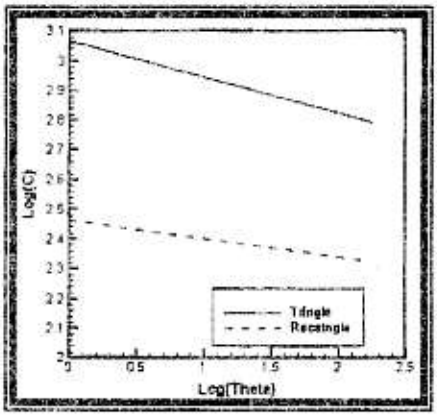
شكل (5) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد(Ra)
لمختلف نماذج الاختبار عند زاوية 30°



شكل (6) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد(Ra)
لمختلف نماذج الاختبار عند زاوية 60°



شكل (7) يمثل العلاقة بين عدد (Nu) وعدد(Ra)
لمختلف نماذج الاختبار عند زاوية 90°



شكل(8) يبين العلاقة بين زاوية الميلان والقيمة اللوغاريتمية للثابت