دراسة عملية لتأثير زاوية الميلان على انتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانة ملساء موضوعة بين جدارين معزولين [+]

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF INCLINATION ANGLE ON THE FREE CONVECTION HEAT TRANSFER FROM SMOOTH CYLINDER FIXED BETWEEN TWO INSULATED WALLS

عباس ناجي خضير [*]

المستخلص

دراسة عملية أجريت على أسطوانة ملساء موضوعة بين جدارين معزولين حرارياً لمعرفة تأثير زاوية ميل الاسطوانة عن الأفق على كمية الحرارة المنتقلة منها بالحمل الحر . لقد تم تثبيت الاسطوانة وسط المجرى وأجري تغيير ميل الاسطوانة بزوايا مختلفة (٠°، ٣٠°، ٦٠°، ٩٠°) علما أن الوسط الناقل للحرارة هو الهواء . و درست الحرارة المنتقلة بمستويات حرارية مختلفة (٥ ، ١٢ ، ٣٠ ، ٥٠ ، ٧٤ ، ١٠٢ ، ١٣٨) واط . النتائج أظهرت أن اكبر كمية حرارة منتقلة تكون عند الوضع الأفقي و تقل كلما زاد ميل الاسطوانة عن الافق و كذلك أثبتت النتائج ان لوجود الجدران تأثير كبير على زيادة أنتقال الحرارة بالمقارنة مع الحالة الحرة . لقد تم أستنتاج معادلة تجريبية لعدد نسلت وعدد رايلي للزوايا من (٠° – ٧٥°).

Abstract

An experimental study is made on smooth cylinder fixed between two insulated walls to investigate the effect of inclination angle of the cylinder from the horizontal on heat transfer by free convection. The cylinder was placed in the middle space with changing inclination angle of the cylinder (0°, 30°, 60°, 90°). Air was used as medium for heat transfer with different thermal levels (5,12 , 30 ,50 ,74 ,102 ,138) Watt. The results show that heat transfer is in the maximum in the horizontal level and it decreases when increasing the inclination angle from the horizontal, also, the results show that the insulated walls have great effect on increasing heat transfer when compared with free case. An experimental equation is given for heat transfer from cylinder with an inclination of cylinder with horizontal level (0°– 75°).

[+] تاريخ استلام البحث :٢٠٠٥/٩/٢١، تاريخ قبول النشر : ٢٠٠٦/٦/١٥

[*] *مدرس مساعد/المعهد التقني /القادسية*/القادسية/العراق.

الرموز المستخدمة :

الرمز	المعنى	الوحدات
L	طول الأسطوانة	m
A	مساحة الأسطوانة الخارجية	m^2
D	قطر الأسطوانة الخارجي	m
g	التعجيل الأرضي	m/s^2
Ra	عدد رايلي	–
Nu	عدد نسلت	-
Pr	عدد براندتل	-
T_s	معدل درجة حرارة الأسطوانة	ºC
T_{air}	معدل درجة حرارة الهواء المتاخم لجدار المجرى	ºC
h	معامل أنتقال الحرارة بالحمل	$kW/m^2.$ ºC
β	معامل التمدد الحراري	1/K
K	الموصلية الحرارية	$kW/m^2.$ ºC
ν	اللزوجة الكيناماتيكية	m^2/s
Q_q	كمية الحرارة المتولدة في السلك	W
I	التيار الكهربائي	Amp.
V	فرق الجهد الكهربائي	Volt
$Q_{conv.}$	كمية الحرارة المنتقلة بالحمل	W
$Q_{rad.}$	كمية الحرارة المنتقلة بالأشعاع	W
σ	ثابت بولتزمان	$W/m^2.K^4$
ϵ	الأنبعاثية	–
T_f	معدل درجة حرارة السطح والهواء	ºC

١-المقدمة

تستخدم المبادلات الحرارية بجميع أشكالها وتطبيقاتها الأنابيب المعدنية إذ تقوم بنقل الحرارة الى الوسط المحيط، وعند وضعها داخل جدارين عموديين تولد حركة للهواء في حالة الحمل الحر من الاسفل الى الاعلى، ويتم انتقال الحرارة بالحمل الحر والإشعاع معاً. وتؤثر عوامل عدة في عملية انتقال الحرارة لزيادة كفاءة المبادلات الحرارية [1] منها :

١- زيادة المساحة السطحية.
٢- استخدام معدن ذي موصلية حرارية عالية.
٣- اختيار الأسلوب المناسب لانتقال الحرارة كالحمل القسري أو الجريان المتعاكس.
٤- استخدام وسط ناقل مناسب يكون ذي سعة حرارية عالية.
٥- تغير الشكل الهندسي للمبادل الحراري.

٢-الدراسات السابقة

لقد تناول عدد من الباحثين انتقال الحرارة للأسطوانة المفردة بنوعيها الحر والقسري، فقد قام الباحث [2] باستخدام الأنموذج الرياضي االمقترح من قبل Charchill & Usagi والذي يملك الصيغة التالية :

$$y^n_{(x)} = y^n_{0\,(x)} + y^n_{\infty\,(x)} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

لأيجاد معادلة عامة لرقم نسلت لمدى واسع من رقم براندتل إذ أن المعادلة الناتجة تعطي الحل الدقيق للأسطوانة الأفقية لكل أعداد براندتل بفيض حراري ثابت علما ان المعادلة المستنتجة هي:-

$$Nu = \frac{0.579\ Ra^{0.25}}{\left[1 + \left(\frac{0.442}{\Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

كما قام الباحثان [3] بدراسة تأثير ميل الأسطوانة المفردة الملساء على انتقال الحرارة بالحمل الحر ، إذ تم أستنتاج معادلتين الأولى خاصة بانتقال الحرارة الموضعي :

$$Nu = 0.545 - 0.387\ (\sin\theta)^{1.462}\ .\ Ra^{0.25+(\sin\theta)/12} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

أما المعادلة الثانية فكانت خاصة بمعدل انتقال الحرارة من الأسطوانة لكل زاوية ميل وهي :

$$Nu = 0.6 - 0.488\ (\sin\theta)^{1.03}\ .\ Ra^{0.25+(\sin\theta)/12} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

ولوحظ من خلال هذه الدراسة أن الحرارة المنتقلة تزداد بزيادة الزاوية عن العمود وتصل الى قيمتها القصوى عند الوضع الأفقي . أما الباحثون [4] ، فقد أعدوا دراسة لعملية انتقال الحرارة بالحمل الحر لأسطوانة أفقية ملساء موضوعة بين جدارين معزولين حرارياً، من خلال تأثير عدد رايلي على عدد نسلت وتأثير المسافة بين الجدران على انتقال الحرارة، وتوصلوا الى ان تقليل المسافة بين الجدارين يؤدي الى زيادة معدل انتقال الحرارة .

وقام الباحث [5] بدراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر من أنبوب مزعنف ذي زعانف مربعة الشكل مثبت أفقياً بين جدارين عموديين، وأجرى مجموعة من التجارب لإيجاد المسافة المثلى بين الجدران وأفضل موضع للأنبوب، وأستنتج الباحث بأن انتقال الحرارة يتحسن عند وضع الأسطوانة في قاعدة المجرى وعندما تكون المسافة بين الجدارين صغيرة.

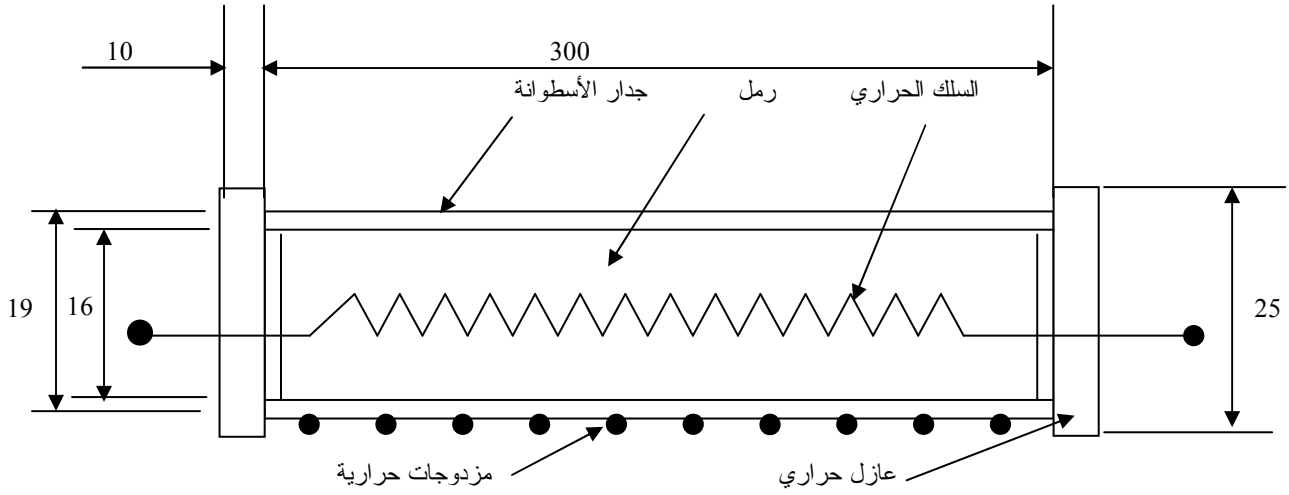
أما الباحثون [6] فقد تناولوا في دراستهم العملية تأثير زاوية ميل أسطوانة مزعنفة حلقياً على انتقال الحرارة بالحمل الحر في حيز مفتوح، وقد تم وضع الأسطوانة بزوايا ميل مختلفة عن الأفق($0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$) ولمستويات حرارية (12,50,102,176,270) واط في حيز مفتوح الى الهواء الخارجي، وقد وجدوا أن أنتقال الحرارة من الأسطوانة المزعنفة يكون أعلى ما يمكن في الوضع الأفقي وأقل ما يمكن في الوضع العمودي للأسطوانة.

لم تتناول الدراسات السابقة التي تم الحصول عليها تأثير زاوية الميل لأسطوانة غير مزعنفة موضوعة بين جدارين معزولين حرارياً، إذ يراد من هذه الدراسة تحديد تأثير الجدارين المعزولين حراريا، على انتقال الحرارة من الأسطوانة الملساء المائلة.

٣ – الأجهزة المستخدمة

٣-١-الأسطوانة :

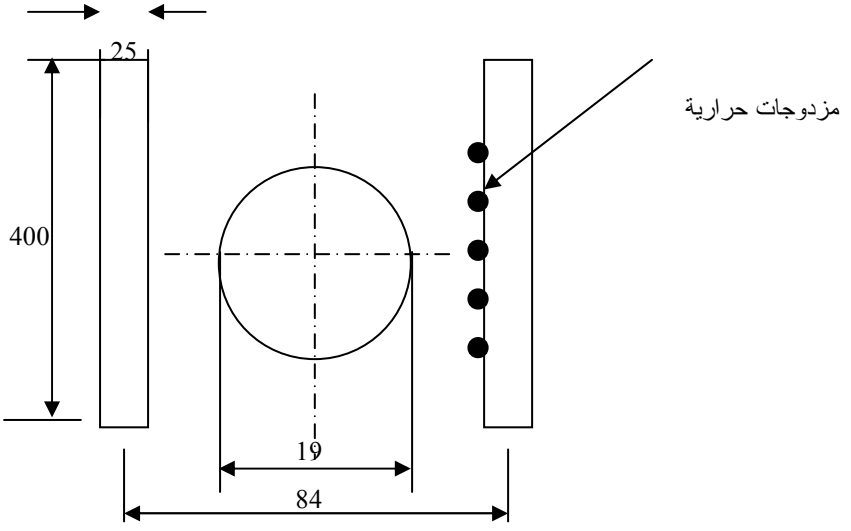
صنعت الاسطوانة من (mild steel) بقطر خارجي (19mm) وقطر داخلي (16mm) وطــول (300mm) وأستخدم مسخن كهربائي قدرته (1kW) للحصول على فيض حراري ثابت وضع داخل الأسطوانة مع القاعــدة مــع التأكد من عدم وجود تلامس مع الأسطوانة ولتجنب حالة القصر الكهربائي وقد تم مليء الفراغ بالرمل الناعم و ثبتــت النهايات بقطعتين من الخزف كما في الشكل (1).



شكل رقم (1): يمثل الاسطوانة الحرارية

٣-٢-جدران المجرى:

يتكون هذا المجرى من جدارين عموديين من خشب الصاج بسمك (25mm) وطــول (700mm) وارتفــاع (400mm) ولصقت طبقة رقيقة من رقائق الألمنيوم على السطح الداخلي للجدران لتسهيل حركة الهواء داخل المجرى. وعلقت الأسطوانة بمنتصف المجرى بواسطة خيطين الأول فــي المنتصف والثاني فــي أحــد الأطــراف وذلــك للحصــول علــى زوايا ميلان (0° , 30° , 60° , 90°) كما في الشكل (٢).



شكل (٢) :يمثل موقع الأسطوانة بين الجدارين

٣-٣-أجهزة القياس :

تم تجهيز المنظومة بالقدرة الكهربائية من مجهز فولتية متغير للحصول على فرق جهد من (10 – 70) فولت وتم قياس درجات الحرارة للأسطوانة والمجرى بواسطة مزدوجات حرارية نوع (نحاس – كونستانتن) عـدد (٥) على أرتفاع أحد الجدران من المنتصف يهدف قياس درجة حرارة الهواء بين الجدارين و (10) مزدوجات حرارية على طول الأسطوانة.

٤-التجارب والحسابات

تم ربط الدائرة الكهربائية بعد التأكد من وضع الأسطوانة الملساء في وسط المجرى لكـــل الزوايـــا (0° , 30° , 60° , 90°) ولمدى عدد رايلي يترواح بين ($6.5X10^4 - 44.9X10^4$).

وقد تم اجراء الحسابات كالتالي :

$$Q_q = I.\ V \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

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

حيث أن :

$$Q_{conv.} = h.A.(T_s - T_{air}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

$$Q_{rad.} = \sigma A\, \varepsilon\, (T_s^4 - T_{air}^4) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

وقد تم استخراج معامل انتقال الحرارة بالحمل (h) :

$$h = \frac{q_{conv}}{A(T_s - T_{air})} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

وقد تم حساب الأعداد اللابعدية من المعادلات التالية :

$$Nu = \frac{h\,D}{K_f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

$$Ra = \frac{\beta\, g\, D^3\, (T_s - T_{air})\, Pr}{\nu^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

إذا تم حساب الخواص الفيزياوية للهواء عن طريق معدل درجة حرارة الطبقة المتاخمة للسطح :

$$T_f = \frac{T_s + T_{air}}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

وأن معامل التمدد الحجمي :

$$\beta = \frac{1}{T_{f+273}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

علما ان المساحة السطحية للاسطوانة هي: $\boldsymbol{A = \pi\, D\, L}$

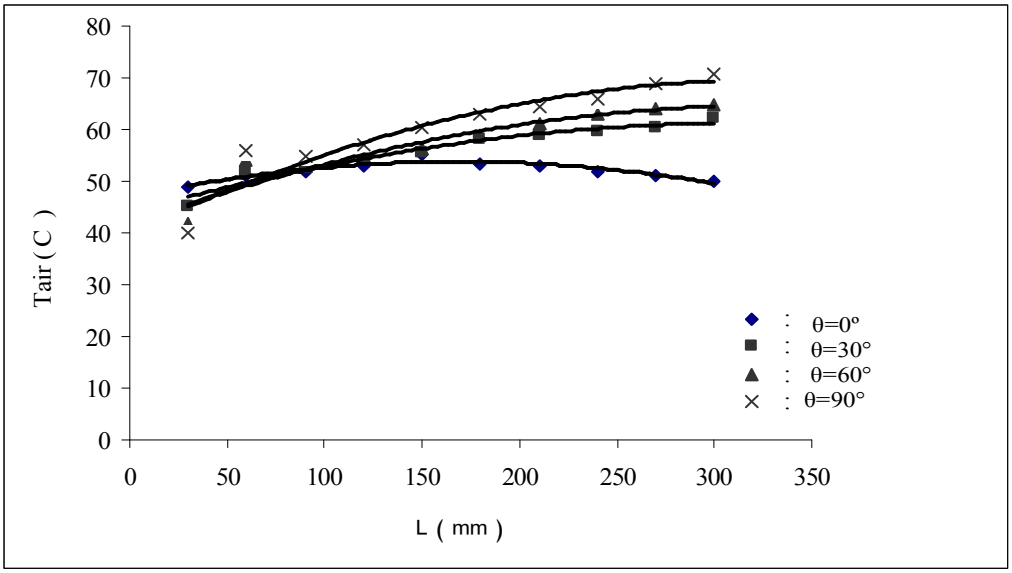
٥-النتائج والمناقشة

الاشكال (٣)،(٤) تمثل توزيع درجات الحرارة على طول اسطوانة الاختبار ولكل الزوايا لمـستويات فـيض حراري (120W, 50W) على التوالي إذ يمكن ملاحظة الامور التالية :-

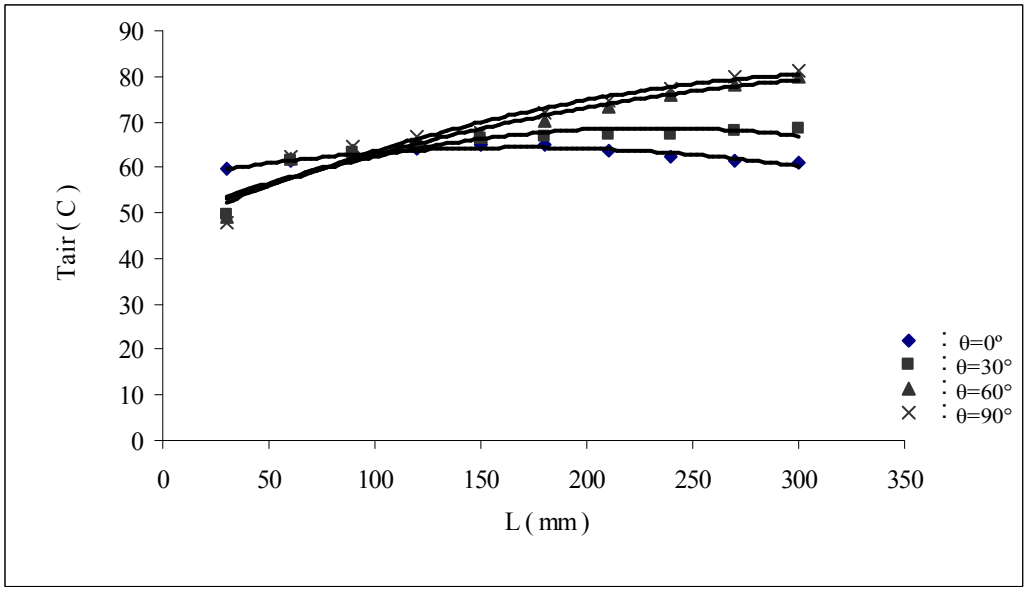
ان درجات الحرارة على طول الاسطوانة تكون اعلى في حالة الفيض الحراري (120W) وهذا يعني انه كلما زاد الفيض الحراري زادت درجة حرارة الاسطوانة. كما نلاحظ حالة توزيع درجات الحرارة المتماثـل علـى طـول

الاسطوانة لكلا الشكلين الامر الذي يدل على انه ليس للفيض الحراري تأثير على توزيع درجات الحرارة بل على قيمة درجة الحرارة. كما نلاحظ من الشكلين ان توزيع درجات الحرارة للاسطوانة في الحالة الافقية ($\theta=0^\circ$) يكون متناسق ومتناظر وان اطراف الاسطوانة تكون أبرد من النقاط الوسطية وان سبب ذلك هو احاطة جوانب الاسطوانة بالمائع البارد الصاعد من الاسفل بينما النقاط الوسطية تكون متأثرة بالنقاط المتاخمة لها والتي تكون درجة حرارتها عالية.

اما في حالة ميل الاسطوانة فاننا نلاحظ انه كلما زادت زاوية ميل الاسطوانة عن الافق كلما قلت درجة حرارة النقطة السفلية للاسطوانة وزادت درجة حرارة النقاط العليا والسبب في ذلك هو ان النقطة السفلية ستواجه كمية اكبر من المائع الصاعد البارد بينما النقاط العليا ستتأثر بالهواء الحار الصاعد من النقاط السفلى نتيجة فرق الكثافة الناتج بسبب التسخين وان هذا التأثير يزداد بزيادة الزاوية . ويصل الى اقصى حالة له في حالة الاسطوانة العمودية ($\theta=90^\circ$).

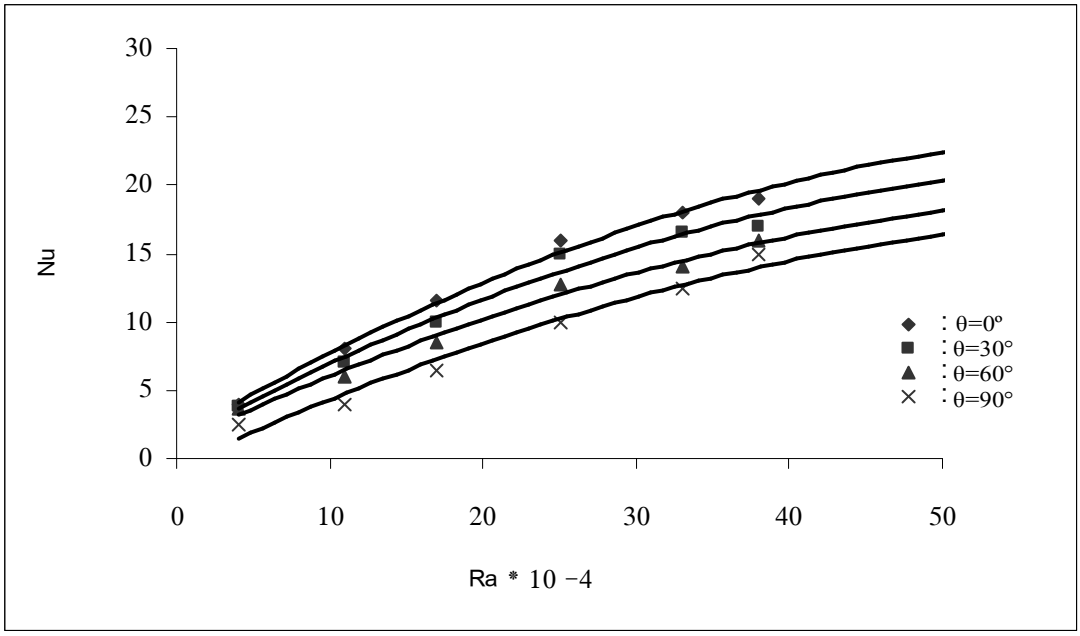


شكل رقم (٣) : يمثل توزيع درجات الحرارة على طول الأسطوانة عند مستوى حراري (٥٠) واط لكل قيم الزوايا.



شكل (٤) : يمثل توزيع درجات الحرارة على طول الأسطوانة عند مستوى حراري (٧٥) واط لكل قيم ا لزوايا.

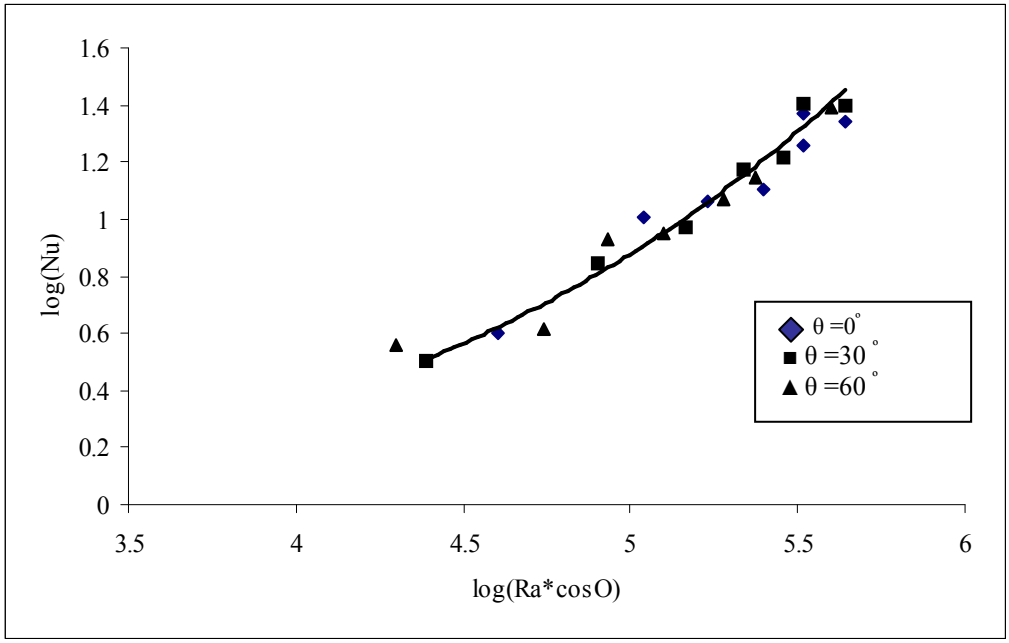
أما الشكل (٥) فانه يمثل العلاقة بين رقم نسلت (Nu) و رقم رايلي (Ra) ولكل زوايا ميل الاسطوانة حيث نلاحظ ان رقم نسلت والذي يمثل كمية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر يزداد بزيادة رقم رايلي وذلك لزيادة كمية الحرارة المعطاة الى الاسطوانة وزيادة درجة حرارة سطحها الامر الذي يؤدي الى زيادة تسخين الوسط المحيط (الهواء) وبالتالي نقصان كثافته بشكل كبير وصعوده بسرعة اكبر مما هو عليه في حالة الفيض الحراري القليل الامر الذي يعني زيادة سرعة الهواء البارد الصاعد من الاسفل والذي يحل محل الهواء الحار الصاعد الى الاعلى نتيجة فرق الكثافة إذ ان الهواء البارد الصاعد من الاسفل سيصطدم بالاسطوانة ومعنى ذلك انه كلما زادت سرعة الهواء الصاعد زادت كمية الحرارة المنتقلة وهو الامر المماثل لحالة الحمل القسري (force convection) كذلك يتضح انه كلما زادت زاوية الميل كلما قلت قيمة رقم نسلت وذلك لأحاطة النقاط العليا بالمائع الحار الصاعد من النقاط السفلى نتيجة فرق الكثافة والذي يمر على النقاط العليا للاسطوانة قبل تركه للاسطوانة إذ سيؤدي الى نقصان عملية التبادل الحراري بين الاسطوانة والوسط المحيط الذي يعتمد اساسا على فرق درجات الحرارة بين الجسم والمائع.



شكل رقم (٥): يمثل العلاقة بين رقم ناسلت و رايلي لكل قيم الزوايا للأسطوانة بين الجدارين.

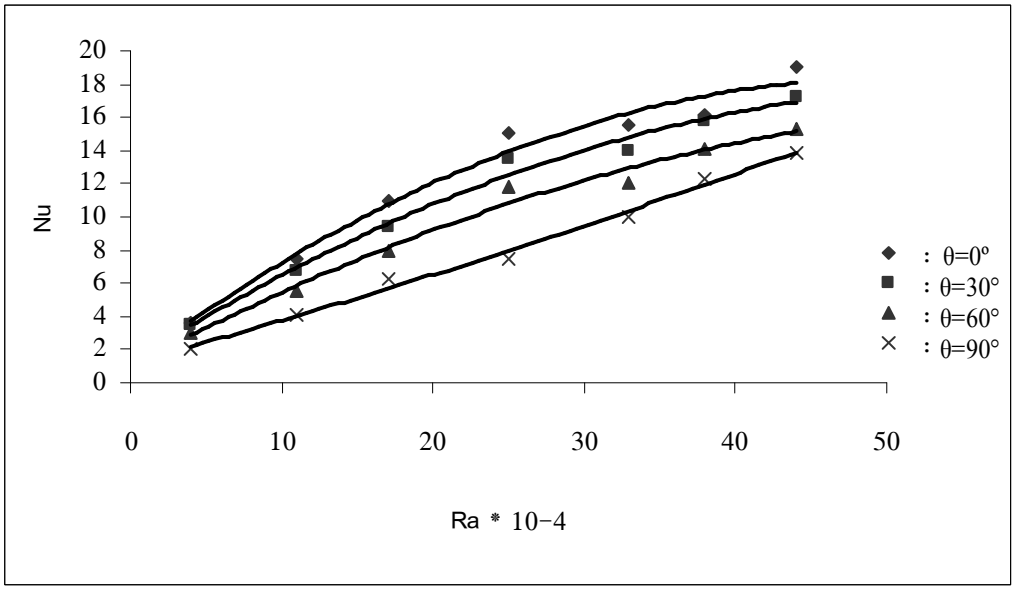
اما الشكل (٦) فانه يمثل العلاقة بين لوغاريتم رقم نسلت مع لوغاريتم رقم رايلي مع جيب تمام الزاوية للزوايا (°0-75°) وتم أعتماد هذه الزوايا لكون انتقال الحرارة بالحمل الحر من الاسطوانة يقل بشكل كبير كلما زادت الزاوية ليصل الى اقل قيمة له في الحالة العمودية . أن المعادلة المدرجة في أدناه و التي تم الحصول عليها للزوايا المعتمدة في البحث غير دقيقة بالنسبة للزوايا الكبيرة وذلك لكون جيب تمام الزاوية الكبيرة يصل الى الصفر عند قيمة زاوية ميل (٩٠°) هي :

$$log\ Nu = 0.0027\ (log\ Ra * cos\ \theta)^{3-6082}$$



شكل رقم (٦) :يمثل العلاقة بين رقم نسلت و رقم رايلي

اما الشكل (٧) فيمثل العلاقة بين رقم نسلت ورقم رايلي لزوايا الميل المعتمدة في البحث للحيز الحر حيث نلاحظ ان توزيع قيم نسلت مماثلة لما هو عليه في حالة وجود الاسطوانة بين جدارين إلا أن كمية الحرارة المنتقلة والمتمثلة برقم نسلت اقل مما هو عليه في حالة الاسطوانة الموضوعة بين جدارين معزولين لقيم الزوايا والفيض الحراري نفسها .



شكل رقم (٧): يمثل العلاقة بين رقم نسلت ورقم رايلي لكل قيم الزوايا في الحيز الحر

٦ – الاستنتاجات

من خلال دراسة الخواص الحرارية للأسطوانة المثبتة بين الجدارين و التي تم تغيير ميلها عن الأفق بعدة زوايا نستنتج مايلي :

١- تقل كمية انتقال الحرارة من الأسطوانة كلما زادت زاوية ميلها عن الأفق.

٢- لوجود المجرى أثـــــــر كبير في زيادة انتقال الحرارة عما عليه في الأسطوانة في الحيز الحر (عدم وجود جدران).

٣- أعلى انتقال حرارة يكون عند زاوية الصفر(الوضع الأفقي).

٤- تم استنتاج علاقة تجريبية لرقم نسلت (Nu) مع رقم رايلي (Ra) و زاوية ميل الاسطوانة بنسبة خطأ (٧%).

المصادر

١. موحان، علي شعلان. "*تحسين انتقال الحرارة بالحمل الحر من صف عمودي لأسطوانات أفقية مزعنفة موضوعة داخل مجرى أدبياتي* " ، رسالة ماجستير مقدم الى قسم هندسة المكائن والمعدات /الجامعة التكنلوجيـــة، العـــراق، ١٩٩٧.

2. Churchill, S.W. *" Laminar free convection from horizontal cylinder with a uniform heat flux density " Int. heat and mass transfer*, Vol. 1, pp. 109-112, 1974.

3. M. Al Arabi and Y. Salman .*" Laminar natural convection heat transfer from inclined cylinder ", Int. J. Heat and mass transfer*. Vol 23. Pp. 45-51, 1979.

4. F. Karim and others. *" Natural convection heat transfer from horizontal cylinder between vertical confining adiabatic walls " ASME*, Vol. 108 , pp. 291-298, 1986.

٥. عبد الله، حسن كريم. *" تحسين انتقال الحرارة من أنبوب مزعنف مثبت بين جدارين معزولين حراريـــاً"*، *مجلـــة اليرموك* /جامعة اليرموك، أربد –الأردن، المجلد السابع (١٩٩٨). ٥٦-٨٠ ،١٩٩٨.

٦. عبد الله، حسن كريم وآخرون." *دراسة تأثير زاوية ميل أسطوانة مزعنفة حلقياً على انتقال الحرارة بالحمل الحـــر في حيز مفتوح* ". *مجلة التقني* . العدد التاسع والثمانون ، ٨٦-٧٩ ،٢٠٠١.