

دراسة نظرية وعملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانة أفقية مغمورة بوسط مسامي مشبع

احمد حسن احمد ابراهيم

مدرس

هيئة التعليم التقني-المعهد التقني الحويجة

E-mail: ahmadhassan992000@yahoo.com

(الاستلام:- ٢٠٠٩/١١/٢ ، القبول:- ٢٠١١/٢/١)

الخلاصة

أجريت دراسة نظرية وعملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من اسطوانة مغمورة في وسط مسامي مشبع. تضمن الجانب النظري اشتقاق المعادلات الحاكمة للزخم والطاقة وباستخدام نموذج دارسي للجريان , إن المعادلتين الناتجتين هما من نوع القطع الناقص تم حلها بطريقة الفروق المحددة مع انتظام درجة حرارة سطح الاسطوانة كشرط حدي وتم تثبيت عدد بكلت ضمن مدى الانتقال الطبيعي مع تغيير عدد رالي لقيم تتراوح بين (10 إلى 50) على التوالي حيث تم استخراج معدل انتقال الحرارة بدلالة عدد نسلت لهذه الأعداد.

أما الجانب العملي فقد تضمن بناء نموذج تجريبي متآلف من اسطوانة من الحديد قطرها (20)mm مسخنة من الداخل كهربائياً ومغمورة في حشوه من كرات الزجاج الموضوعة في وسط الاختبار. أوضحت النتائج النظرية والعملية على السواء إن معدل انتقال الحرارة للحالة المستقرة يزداد بازدياد عدد رالي أو إن عدد نسلت يرتبط مع عدد رالي وفق العلاقة $Nu=4.311\ln Ra-11.1$ للجانب العملي و $Nu=2.155 \ln Ra-3.98$ للجانب النظري.

الكلمات الدالة: الحمل الطبيعي,الوسط المسامي,اسطوانة أفقية.

الرموز والمصطلحات

الرمز	المعنى	الوحدة
A_c	مساحة مقطع الاختبار	m^2
A_{pi}	المساحة الخارجية للاسطوانة	m^2
A_o	مساحة مقطع الفجوة	m^2
r	نصف قطر الاسطوانة	m
C_p	الحرارة النوعية	$J/kg.^{\circ}C$

m	قطر الوسط المسامي	d_p
m	قطر الاسطوانة	D
m/s^2	التعجيل الارضي	g
$W/m^2 \cdot ^\circ C$	معامل انتقال الحرارة بالحمل	h
A	التيار	I
W	القدرة الكلية	Q
W	الخسائر الحرارية	Q_{loss}
W	خسائر الاشعاع	q_r
W/m^2	الفيض الحراري الموضعي	q
\dot{W}	خسائر الحمل	q_c
$W/m \cdot ^\circ C$	معامل التوصيل الحراري	K
m,deg.	الإحداثيات الاسطوانية	r,θ
	الاحداثي اللابعدي لنصف القطر	R
$^\circ C$	درجة الحرارة	T
m/s	سرعة جريان المائع	U
m/s	مركبات السرعة	u,v
V	فرق الجهد	V
	مركبات السرعة اللابعدية	V_r, V_θ
	المجموعة اللابعدية	
	معدل عدد نسلت	Nu
	عدد بكلت	Pe
	عدد رالي	Ra
	الرموز الاغريقية	
	دالة لابعدية لنصف القطر	ξ
	دالة الجريان اللابعدية	Ψ
	دالة درجة الحرارة اللابعدية	ϕ
m^2/s	دالة الجريان البعدية	Ψ
	المسامية	ε
kg/m^3	الكثافة	ρ
m^2/s	الانتشارية الحرارية	α
m^2/s	اللزوجة الكينماتيكية	μ
K^{-1}	معامل التمدد الحراري	β
	الابتعائية	ϵ

W/m^2K^{-4}	ثابت بولتزمان	σ
	الرموز التحتية	
	باتجاه نصف القطر	R
	للسطح	S
	للمائع	F
	بالاتجاه الزاوي	θ
	شروط الجريان الحر	∞
	قطر الجسيم (الوسط المسامي)	P
	حقيقي	m

المقدمة

الحمل الطبيعي من المواضيع المهمة جداً نظراً لتطبيقاته الكثيرة في العديد من مجالات الطبيعة، وعلى الرغم من أنه لا توجد سرعة قسرية تولد هذا النوع من الحمل إلا أنه تتولد تيارات الحمل الطبيعي داخل المائع التي تحته على الجريان نتيجة لتأثيرات قوة الطفو أو ما تدعى بقوة التعويم. إذ نرى في العديد من الأجهزة التي تتضمن طرفاً متعددة لانتقال الحرارة والتي يتم من خلالها التأثير على معدلات انتقال الحرارة أو كلفة التشغيل فإن الحمل الطبيعي يؤدي دوراً مهماً في تصميم أو أداء الجهاز الذي يفضل كثيراً على الحمل القسري. كما أن الحمل الطبيعي يحدث أيضاً في الوسط المسامي المشبع بالمائع وكأي مسألة علمية تقنية فإن معالجة مسألة انتقال الحرارة وجريان المائع في وسط مسامي قد أصبحت تدرس بطريقتين هما العملية والنظرية. وبصورة عامة فإن الوسط المسامي عبارة عن مادة صلبة تحتوي على ثقوب وفجوات تترايط مع بعضها كممرات ومسامات ينساب المائع من خلالها، يمكن أن يعامل هذا الوسط على أنه كمية متسلسلة ومتواصلة أحياناً بنظر الاعتبار الانتقال الذي يحصل في كل طور من أطوار الوسط (1).

يستخدم الوسط المسامي في الكثير من المجالات والتطبيقات فقد دخل استخدامه في مجال الصناعة وعلم طبيعة الأرض والصناعات النووية، وكذلك له دور مهم في مجال انتقال الحرارة وفي مجال حفظ الطاقة مثل العوازل الحبيبية أو المسامية وهيكل الملفات الكهربائية ذات القدرة العالية (2). ويستخدم الوسط المسامي في المفاعلات النووية إذ يقوم بسحب الحرارة المفاجئة والمتولدة من تفكك جزئيات الوقود النووي نتيجة الحوادث المفاجئة التي تصيب المفاعلات النووية بإبعاد هذه الحرارة من طبقة الحشوة للمفاعل، كما يستخدم في التجفيف و تخزين الطاقة الشمسية الممتصة وتستخدم المواد المسامية في مواد البناء وكمواد عازلة (3). كذلك فإن المواد المسامية مثل الرمل أو الحجر تحت التربة المشبعة بالمياه تحت ضغط تقوم بنقل الطاقة اعتماداً على خواص المائع المنساب من خلالها، وتدخل أيضاً في صناعات البترول إذ تستخدم في إنتاج النفط الخام، وإنتاج الغاز الطبيعي، واستغلال الطاقة الموجودة في باطن الأرض، والدورة الحرارية في الصخور (4). تستخدم أيضاً في دفن خطوط النفط والغاز وخطوط بخار محطات القدرة وشبكة توزيع الماء تحت سطح الأرض، والاستفادة من تسخين المائع أو تبريده للتقليل من طاقة الضخ (5). تم استخدامها في دفن الأسلاك الكهربائية وملفات المحولات و تخزين بقايا المواد النووية ذات الإشعاعات الفعالة والمتبددة (6). إن عملية انتقال الحرارة بالحمل الحر في الأوساط المسامية حضرت بالعديد من الدراسات إذ قام الباحث (7) واخرون بدراسة لانتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح اسطوانة محاطة باسطوانة خارجية لاعداد رالي تتراوح بين $2300 < Ra < 100000$ مع ثبوت عدد Pr حيث تم رسم خطوط الانسياب والتوزيع الحراري ووجد ان هناك توافق

بين الحل النظري والنتائج العملية. أجرى (8) وآخرون دراسة نظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر من سطح كرة مغمورة في وسط مسامي وتم حل المعادلات الحاكمة عددياً ووجد أن المنطقة المحيطة بالكرة تنقسم إلى منطقتين المنطقة الملاصقة لسطح الكرة والمنطقة البعيدة ووجد أن عملية الاستقرار تكمن في المنطقة الملاصقة فقط. قام الباحث (9) بدراسة انتقال الحرارة من أنبوبة مغمورة في وسط مسامي شبه لامتناهي (من الجوانب والأسفل) ولعدد رالي قليل وكان الوسط مائلاً نسبة إلى متجه التعجيل الأرضي كما أن درجة الحرارة للوسط والاسطوانة متجانسة. إن نتائج هذه الدراسة كانت وصفاً لمجال درجات الحرارة وصيغة الانسياب وقد عبر عنها التعبير التحليلي ومن النتائج المهمة التي أوجدها هي معدل عدد نسلت الذي كان دالة من عدد رالي وعمق الانغمار (المسافة بين السطح ومركز الاسطوانة) وقد استنتج أنه كلما زاد عمق الانغمار قلت كمية الحرارة المنتقلة إلى أن تصل نقطة معينة ثم تبدأ بالزيادة. وكما قام الباحث (10) بدراسة عددية للاسطوانة أفقية مغمورة في وسط مسامي محدد بتجويف مربع الشكل، وكانت الاسطوانة تحتفظ بدرجة الحرارة العالية في حين يأخذ التجويف نوعين من الظروف الحدية الأولى عندما تكون جميع الجدران للتجويف عند درجة حرارة منخفضة وثابتة والظرف الحدي الثاني عندما تكون الجدران الأفقية معزولة والجدران العمودية لها درجة حرارة منخفضة وثابتة، وتم حل المعادلات التفاضلية الجزئية لعمليات الحمل الطبيعي ضمن انسياب دارسي وتقريب بوسينسك وتمت مقارنة النتائج العددية لمعدل عدد نسلت مع البحوث الأخرى باستعمال نفس الظروف الحدية حيث تبين أنها متقاربة جداً وقد تم تمثيل النتائج العددية لانتقال الحرارة بعدد رالي المطور $(50 \leq Ra \leq 500)$ ولاقطار مختلفة من الاسطوانة نسبة إلى عرض التجويف $(1/4, 1/3, 1/2, 2/3)$. وقد تم تمثيل هذه النتائج بدلالة خطوط الانسياب وخطوط ثبوت درجات الحرارة فضلاً عن عرض رسوم بيانية تمثل علاقة عدد نسلت مع عدد رالي المطور وعلاقات تقريبية تمثل اعتمادية عدد نسلت على عدد رالي المطور وعلى نسبة قطر الاسطوانة إلى عرض التجويف. أما الباحث (11) وآخرون فقد قاموا بدراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الطبيعي من اسطوانة أفقية مغمورة في وسط مسامي مشبع متآلف من حبيبات زجاجية كروية مشبعة إما بماء أو زيت وقد تبين من الدراسة أن مجال عدد رالي ينقسم إلى قسمين هما مجال عدد رالي الصغير ومجال عدد رالي الكبير وفي كل منهما يكون عدد نسلت مختلفاً إذ تبين أنه عندما يكون عدد رالي قليلاً ينسب الجريان إلى دارسي، وعندما يكون عدد رالي عالياً ينسب الجريان إلى فور كرايمر كذلك تمت دراسة مقاومة الجريان في الوسط المسامي وتم تقسيم عدد رينولد إلى قسمين عندما يكون الانسياب في مجال عدد رينولد صغيراً تكون مقاومة اللزوجة هي المسيطرة وبالإمكان تطبيق قانون دارسي، أما عندما يكون الانسياب في مجال عدد رينولد كبيراً تكون قوة القصور الذاتي (مقاومة القوة المعجلة) هي المسيطرة وفي هذه الحالة لا يمكن تطبيق قانون دارسي. أما الباحثان (12) فقد قاما بدراسة عددية ثنائية البعد لانتقال الحرارة بالحمل الطبيعي من اسطوانة أفقية ساخنة موضوعة في وسط مسامي مشبع شبه لامتناهي (محدد من سطح الوسط فقط) باستخدام طريقة الفروقات المحددة لحل المعادلات الحاكمة، إن خواص انتقال الحرارة للاسطوانة الساخنة درست بوصفها دالة تعتمد على عدد رالي وعمق الانغمار (المسافة بين السطح ومركز الاسطوانة). إذ تضمن الحل العددي استعمال شبكة أسطوانية من النقاط على الاسطوانة مع شبكة ديكارتية تغطي بقية ميدان الوسط وقد غطت الدراسة مجالاً من عدد رالي $(0 \leq Ra \leq 300)$ وأعماق انغمار مختلفة نسبة إلى قطر الاسطوانة $(7 < h/D < 0.8)$. أما الباحث (13) فقام بدراسة عددية لانتقال الحرارة بالحمل الطبيعي من اسطوانتين أفقيتين مغمورتين بوسط مسامي مشبع تفصل بينهما مسافة أفقية والوسط محدد بتجويف مستطيل المقطع، تكون الاسطوانتان ساخناتاً بينما يحتفظ التجويف بدرجة الحرارة المنخفضة.

ومن ثم حلت المعادلات التفاضلية الجزئية لعمليات الحمل الطبيعي بالوسط المسامي (معادلة الاستمرارية، معادلة الزخم، معادلة الطاقة) ضمن الجريان الدارسي وتقريب بوسينسك وقد صيغت هذه المعادلات بالصيغة

اللابعدية وحلت عددياً باستخدام طريقة الفروق المحددة وذلك لحساب عدد نسلت لكل اسطوانة والسرعة العمودية لجريان المائع الطبيعي ضمن مجال معين من عدد رالي المطور ($0 \leq Ra^* \leq 800$) وتم تمثيل النتائج بدلالة خطوط الانسياب وخطوط ثبوت درجات الحرارة لوصف صيغة الانسياب وتوزيع درجات الحرارة فضلاً عن عرض رسوم بيانية تمثل علاقة عدد نسلت مع عدد رالي المطور .

لذلك سيتم في هذا البحث دراسة انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي من اسطوانة أفقية مغمورة في وسط مسامي محدد بغلاف مستطيل المقطع جميع جدرانه غير نفاذة للمائع ، وان درجة الحرارة على سطح الاسطوانة ترتفع من درجة حرارة الغرفة إلى ظرف الاستقرار فضلاً عن استخدام قيم متعددة لعدد رالي وايجاد علاقة تجريبية لعدد نسلت كدالة لعدد رالي ومقارنته مع الجانب النظري وتمثيل التوزيع الحراري ودالة الجريان على سطح الاسطوانة.

الجانب النظري

يتضمن الجانب النظري حل معادلات الزخم والطاقة لاسطوانة معدنية أفقية مغمورة في وسط مسامي مشبع والمتمثلة في الشكل (1) حيث تم تطوير النموذج الرياضي المستخدم في (9) بعد الغاء تأثير عدد بكلت ليتلائم مع الانتقال الحر ووضع الفرضيات أدناه لتبسيط الحل

- درجة حرارة المائع ادنى من درجة الغليان.
- المائع المنتقل والوسط المحيط في حالة اتزان حراري.
- خواص المائع والوسط متجانسة وحسبت عند متوسط درجة الحرارة.
- كثافة المائع هي دالة لدرجة الحرارة فرضية بوسينسك.

بعد ذلك تم اعتماد موديل دارسي لحل المعادلات الحاكمة (9).

معادلة الاستمرارية:

$$\frac{\partial}{\partial r}(ru) + \frac{\partial v}{\partial \theta} = 0 \quad (1)$$

معادلة الزخم:

$$u = \frac{-K}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial r} + \rho g \cos \theta \right) \quad (2)$$

$$v = \frac{-K}{\mu} \left(\frac{\partial p}{r \partial \theta} + \rho g \sin \theta \right) \quad (3)$$

يمكن اشتقاق معادلة 2 بالنسبة ل (r) ومعادلة 3 بالنسبة ل (θ) وتعويض قيمة ρ باستخدام فرضية او تقريب بوسينسك وبطرح المعادلتين يمكن حذف حد الضغط لنحصل على :

$$\frac{\partial u}{\partial r} - r \frac{\partial v}{\partial r} - v = -\frac{\rho_{\infty} \beta g K}{\mu} \left(\frac{\partial T}{\partial \theta} \cos \theta + r \frac{\partial T}{\partial r} \sin \theta \right) \quad (4)$$

معادلة الطاقة

$$u \frac{\partial T}{\partial r} + v \frac{\partial T}{r \partial \theta} = \alpha_m \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} \right] \quad (5)$$

$$\rho = \rho_{\infty}[1 - \beta(T - T_{\infty})] \quad (6)$$

الصيغ اللابعدية للمعادلات الحاكمة

يمكن إعادة كتابة المعادلات الحاكمة بالصيغ اللابعدية من أجل حذف بعض المتغيرات تسهيلا للحل بطريقة الفروقات المحددة نفرض

$$R = \frac{r}{a}, \quad V_r = \frac{u}{U_{\infty}}, \quad V_{\theta} = \frac{v}{U_{\infty}}, \quad \Psi = \frac{\psi}{aU_{\infty}}, \quad \phi = \frac{(T - T_{\infty})}{(T_s - T_{\infty})}$$

لذلك يمكن ان نربط بين مركبتي السرعة بواسطة دالة الجريان

$$V_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta}, \quad V_{\theta} = -\frac{\partial \Psi}{\partial r} :$$

بالتعويض في المعادلات 4,5

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial \theta^2} + R^2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial R^2} + R \frac{\partial \Psi}{\partial R} = -\frac{Ra}{Pe} \left(R \frac{\partial \phi}{\partial \theta} \cos \theta + R^2 \frac{\partial \phi}{\partial R} \sin \theta \right) \quad (7)$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \frac{\partial \phi}{\partial R} - \frac{\partial \Psi}{\partial R} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} = \frac{2}{Pe} \left(R \frac{\partial^2 \phi}{\partial R^2} + \frac{\partial \phi}{\partial R} + \frac{1}{R} \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta^2} \right) \quad (8)$$

بالتحويل إلى الإحداثيات القطبية نفرض ان $\xi = \ln R$ يمكن إعادة كتابة المعادلات 8,7

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \theta^2} = -\frac{Ra}{Pe} e^{\xi} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \theta} \cos \theta + \frac{\partial \phi}{\partial R} \sin \theta \right) \quad (9)$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \frac{\partial \phi}{\partial R} - \frac{\partial \Psi}{\partial R} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} = \frac{2}{Pe} \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta^2} \right) \quad (10)$$

بتطبيق الشروط الحدية عند السطح

$$V_r = 0, T = T_s, R = 1 \quad (11 a)$$

V_{θ} و V_r بالتعويض عن قيم

$$V_{\theta} = -\frac{\partial \Psi}{\partial R} = -e^{-\xi} \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} \quad (11c)$$

الشروط الحدي من معادلة (11a)

$$\Psi = \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} = 0, \quad \phi = 1 \quad \text{at} \quad \xi = 0 \quad (12a)$$

$$e^{-\xi} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \rightarrow \cos \theta, \quad e^{-\xi} \frac{\partial \Psi}{\partial \xi} \rightarrow \sin \theta$$

$$\xi \rightarrow \infty, \quad \phi \rightarrow 0 \quad (12b)$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial R} = 0, \quad \theta = 0, \pi, \quad \xi \geq 0 \quad (12c)$$

الشروط الحدية في (12b) لا يمكن تطبيقها لذلك نفرض ان

$$e^{-\xi} \frac{\partial \Psi}{\partial \theta} \rightarrow \cos \theta$$

$$\Psi = e^{-\xi_m} \sin \theta \quad (12d)$$

في التطبيقات الهندسية غالبا ما نتعامل مع عدد نسلت الموضعي للتعبير عن انتقال الحرارة الناتج من حركة المائع على سطح الاسطوانة (Nu) وعدد نسلت الزاوي Nu_θ حيث

$$Nu_\theta = \frac{2ah_\theta}{K_m} \quad (13a)$$

$$Nu = \frac{2ah}{K_m} \quad (13b)$$

$$h\tau = \frac{q_s}{(T_s - T_\infty)} \quad (14a)$$

$$h = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} h\tau d\theta \quad (14b)$$

بتعويض قيمة q_s

$$q_s = -K_m \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r=a}, \quad h_\theta = -\frac{K_m}{(T_s - T_\infty)} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r=a} \quad (15)$$

وبدلالة θ, ξ

$$\left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r=a} = \frac{T_s - T_\infty}{a} e^{-\xi} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right)_{\xi=0}$$

$$h_\theta = -\frac{K_m}{a} e^{-\xi} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right)_{\xi=0} \quad (16)$$

وبذلك تكون قيمة عدد نسلت الموضعي

$$Nu_\theta = -2e^{-\xi} \left(\frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right)_{\xi=0} \quad (17)$$

معامل انتقال الحرارة بالحمل

$$h = \frac{K_m}{2a\pi} \int_0^\pi Nu_\theta d\theta \quad (18)$$

وقيمة عدد نسلت المعدل لنصف الاسطوانة

$$Nu = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} Nu_{\theta} d\theta \quad (19)$$

وبتطبيق قاعدة سمسون يمكن إيجاد معدل عدد نسلت

$$Nu = \frac{\Delta\theta}{3} \{Nu_{\theta}(1) + Nu_{\theta}(n) + 4[Nu_{\theta}(2) + Nu_{\theta}(4) + \dots] + 2[Nu_{\theta}(3) + Nu_{\theta}(5) + \dots]\} \quad (20)$$

المنشأ التجريبي

الرسم التخطيطي للمنشأ التجريبي مبين في الشكل (2) يتالف اساسا من اسطوانة من الحديد القطر الخارجي $D=20$ mm والقطر الداخلي $d=18$ mm بطول $L=200$ mm وارتفاع الحيز 120 mm، التجويف الداخلي يتخلله سخان كهربائي يتكون من سلك مقاومة كهربائية مصنوع من سبيكة (Ni-Cr) بحيث تم عزل السخان عن الجدار الداخلي للاسطوانة بمادة الخزف لمنع التماس المباشر بين السلك والسطح الداخلي للاسطوانة بحيث تخرج نهايتا السلك لترتبط بمجهر القدرة المؤلف من دائرة تيار متناوب وجهاز متعدد الاغراض لقياس التيار وفرق الجهد والمقاومة ومحولة كهربائية لتجهيز الموقع بفرق جهد متغير حسب تحمل الجهاز. زودت الاسطوانة بست مزدوجات حرارية موزعة على السطح بحيث كانت أربعة منها في المنتصف الزاوية بين مجس واخر 90° واثنان على الاطراف. يتكون مقطع الاختبار من مكعب مجوف من الحديد ابعاده $(200 \times 200 \times 120)$ mm معرض من الخارج الى درجة حرارة الغرفة وتتخلله اسطوانة الاختبار بحيث تغمر بمادة مسامية عبارة عن كريات زجاجية بقطر 12 mm.

طريقة الاختبار والحسابات

بعد تثبيت الجهاز بحيث تكون اسطوانة الاختبار بوضع افقي او الجهاز بوضع افقي. تفتح الدائرة الكهربائية حيث تتم السيطرة على الدائرة بواسطة محولة متغيرة ويمكن وصف آلية العمل بالاتي تفتح الدائرة الكهربائية بفرق جهد $10V$ ابتدائا ونبدأ بالمراقبة وتشغيل الموقت حيث تسجل القراءات كل دقيقتين وهكذا الى ان تحصل حالة الاستقرار ومن ثم نغير فرق جهد المصدر بمقدار $10V$.

بعد ذلك تم تسجيل البيانات الداخلة في الحسابات في برنامج اكسل ليتم حساب المتغيرات المطلوبة وفق المعادلات ادناه.

الحرارة الكلية

$$Q = I * V \quad (21)$$

الحرارة المنتقلة بالحمل للوسط المسامي

$$q = h * A_p i (T_s - T_{\infty}) \quad (22)$$

الحرارة المنتقلة بالحمل كخسائر للخارج

$$q_c = h_l * A_o (T_s - T_{\infty}) \quad (23)$$

الحرارة المنتقلة بالاشعاع كخسائر للخارج

$$Q_r = \sigma A_o \epsilon (T_s^4 - T_{\infty}^4) \quad (24)$$

حيث A_{pi} المساحة السطحية للأسطوانة و A_o مساحة المقطع العرضي للأسطوانة و T_s درجة حرارة سطح الاسطوانة بحيث يمكن حساب الحرارة المنتقلة بالحمل من المعادلات اعلاه حيث

$$q = Q - (q_c + Q_r) \quad (25)$$

من معادلة 22 يمكن حساب معامل انتقال الحرارة بالحمل داخل الوسط المسامي اما معامل انتقال الحرارة (h_1)

فقد تم اختياره للأوساط الساكنة من المصدر⁽¹⁴⁾ لذلك نحصل على

$$h = q / A_{pi}(T_s - T_\infty) \quad (26)$$

$$Nu = hD / K_m \quad (27)$$

$$k_m = k_f \left\{ \begin{array}{l} 1 - \sqrt{(1-\varepsilon)} + \frac{2\sqrt{(1-\varepsilon)}}{(1-\lambda B)} * \\ \left[\frac{(1-\lambda)B}{(1-\lambda B)^2} \ln\left(\frac{1}{\lambda B}\right) - \frac{(1+B)}{2} - \frac{(B-1)}{(1-\lambda B)} \right] \end{array} \right\} \quad (28)$$

$$B = 1.25[(1-\varepsilon)/\varepsilon]^{10}, \quad \lambda = k_f / k_s$$

اما عدد رالي فقد تم حسابه وفق المعادلة 29 حيث كان دالة لدرجة حرارة السطح الساخن

$$Ra = \frac{\beta g (T_s - T_\infty) D^3}{\nu^2} Pr \quad (29)$$

اما بقية الخواص الثابتة تم الحصول عليها من جداول انتقال الحرارة عند متوسط درجة الحرارة من المصدر⁽¹⁴⁾.

النتائج والمناقشة

تضمن الجانب النظري حل معادلات الزخم والطاقة لانتقال الحرارة الحر من سطح اسطوانة مسخنة بفيض حراري منتظم حيث تم اعتماد قيمة ثابتة لعدد براندتل 0.75 وتم اختيار قيم متغيرة لعدد رالي ($10 \leq Ra \leq 50$) وكان المحدد لاختيار هذه القيم هو التوافق بين الحل النظري والعملية ضمن هذه الحدود. الأشكال (3,5,7,9) تمثل خطوط دالة الجريان حول نصف اسطوانة على اعتبار مقطع الاختبار مقسم الى نصفين متناظرين الجانب الايمن والاييسر ويبدو واضحا سلوك خطوط الجريان بالقرب من السطح ولاعداد رالي المنخفضة ويعود ذلك الى تاثير قوة الطفو ضمن مدى الانتقال الطبيعي. الأشكال (4,6,8,10) تمثل خطوط ثبوت درجة الحرارة اللابعدى حيث تكون القيمة 1 عند سطح الاسطوانة تتناقص لتقترب من الصفر عندما تقترب درجة الحرارة من درجة حرارة المحيط وكانت كافة الاشكال تعطي انطباعا جيدا للتوزيع الحراري. الشكل (11) يمثل العلاقة بين عدد نسلت الموقعي والزواوية لاعداد رالي مختلفة للحل النظري بوضع الاستقرار وكان عدد نسلت دالة لعدد رالي ويبلغ اعلى قيمة عند الزاوية 45^0 يتناقص ليستقر عند اقل قيمة له عند الزاوية 180^0 والسبب يعود الى ان تيارات الحمل الطبيعي تبدأ من الاسفل تتصاعد بفعل قوة الطفو لتصبح حصة الانتقال الطبيعي بعد الزاوية 45^0 قليلة. الشكل (12) يمثل معايرة المزدوجات الحرارية مع جهاز متعدد الاغراض وكانت العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة هي $T = -19.3 \ln(R) + 7.34$. الشكل (13) يمثل التوزيع الحراري على سطح الاسطوانة لقيم متغيرة من الفيض الحراري وهذا يعطي انطباعا لتوزيع عدد نسلت الموقعي مع الزاوية في شكل (11). الشكل (14) يمثل العلاقة بين عدد نسلت وعدد رالي للحالة المستقرة للحل النظري والجانب العملي ويبدو واضحا في كلا الحالتين التناسب طردي ويقترب الحل النظري من الجانب العملي ضمن المدى

($10 \leq Ra \leq 50$) وفي ذلك توضيح لاقتصار الرسومات البيانية على قيم رالي ضمن المدى اعلاه اي في منطقة اقتراب الحل النظري والعملية.

الاستنتاجات والتوصيات

يتضح مما سبق ان انتقال الحرارة الطبيعي في الاوساط المسامية هو دالة لعدد رالي حيث تم استنتاج العلاقات التالية للجانبين النظري والعملية على التوالي

$$Nu=4.311 \ln Ra - 11.1$$

$$Nu=2.155 \ln Ra - 3.98$$

الحل النظري تناول الحالة المستقرة والجانب العملي اشتمل على نوع واحد من الوسط المسامي (الكرات

الزجاجية) وحجم واحد لذا أوصي بالتالي:

١- حل معادلة الطاقة بإدخال متغير الزمن لتشمل حد الحالة العابرة.

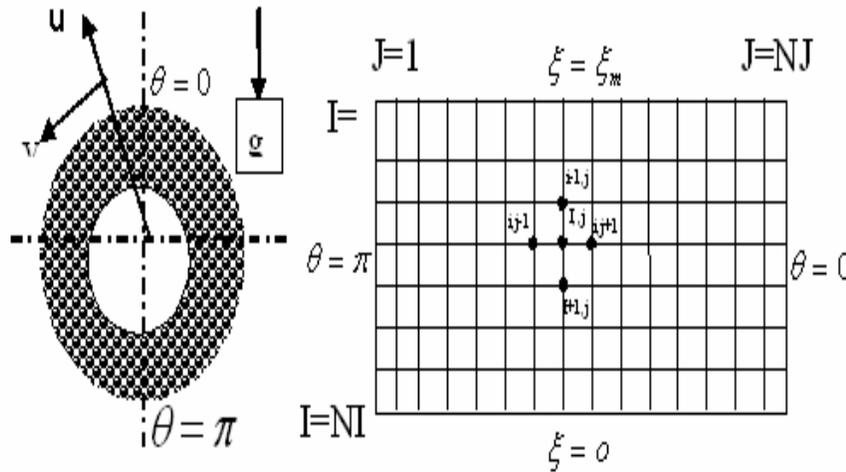
٢- اخذ أحجام مختلفة للوسط المسامي.

٣- تغيير نوع الوسط المسامي.

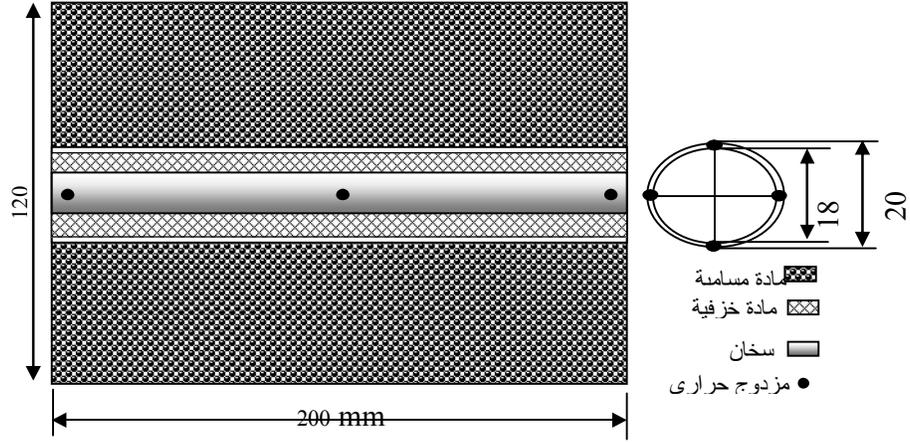
المصادر

1. Kaviany, M. 1998. " Principles of Heat Transfer in Porous Media " Chap.1-2, Second edition .
2. Bejan , A . 2003. " Convection Heat Transfer " , Chap. 10 ,John Wiley and sons Ins.,1984
3. Al – Omar" Numerical Study Of Inertia Effect On Natural Convection In A Horizontal Porous Cavity", M.Sc. Thesis, Mosul Univ.
4. Prasad V., and Kulaki F. A. 1984. "Convective Heat Transfer in a Rectangular Porous Cavity – Effect of Aspect Ratio on Flow Structure and Heat Transfer ", Journal of Heat Transfer , ASME, Vol.106, pp158-165, February.
5. Prasad V., and Kulaki F. A. ,1984. "Natural Convection in a Rectangular Porous Cavity with Constant Heat Flux on One Vertical Wall" J . Heat Transfer , Vol. 100, pp.152-157.
6. Bejan , A., and Tien C.L. 1978, " Natural Convection in Horizontal Porous Media Subjected to an End . To - End Temperature Difference " J . of Heat Transfer , Vol. 100, pp191-198, May .
7. Yong Shi, T.S. Zhao *, Z.L. Guo. 2006. Finite difference-based lattice Boltzmann simulation of natural convection heat transfer in a horizontal concentric annulus. Y. Shi et al. / Computers & Fluids 35 (2006) 1–15.
8. Lai Zhe Phooi1, Rozaini Roslan2, Ishak Hashim3, and Zainodin Haji Jubok1. 2010. Inner solution for oscillatory free convection about a sphere embedded in a porous

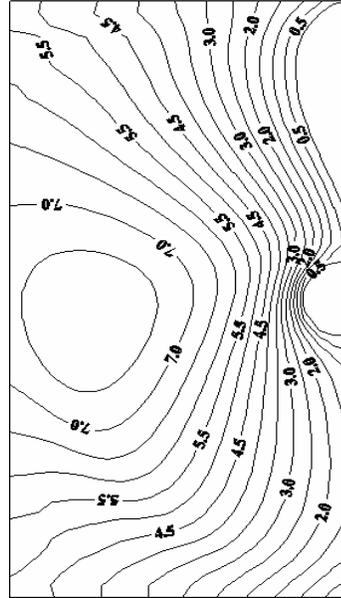
- medium. Proceedings of the 6th IMT-GT Conference on Mathematics, Statistics and its Applications (ICMSA2010).
9. Bau, H. H.,1987. "Convection Heat Losses From a Pipe Buried in a Semi Infinite Porous Medium ", Int. J. Heat Mass Transfer, 30, pp. 263-273.
 10. Saaed,2000. "Numerical Study of Natural Convection Heat Transfer from a Horizontal Cylinder Embedded in a Rectangular Porous Medium ", M.Sc. Thesis, Mosul Univ.
 11. Fand, R. M., Steinerger, T. E., and Cheng, P.1986, " Natural Convection Heat Transfer from a Horizontal Cylinder Embedded in a Porous Medium ", Int. J. Heat Mass Transfer, 29, pp. 119-133,
 12. Hickox C.E. & Gartling D.K.,1981. " A numerical Study of Natural Convection in Horizontal Porous Layer Subjected to an End - to - End Temperature Difference" J. of Heat Transfer, Vol. 13,pp.797-802 , Nov.
 13. Al-Najar. 2004. "Numerical Study Of Natural Convection Heat Transfer From Two Horizontal Cylinders Embeded In Rectangular" M.Sc. Thesis, Mosul Univ.
 14. Yunus, A. Cengel,1998. "Heat Transfer A Practical Approach", Mc-Graw Hill, Inc.



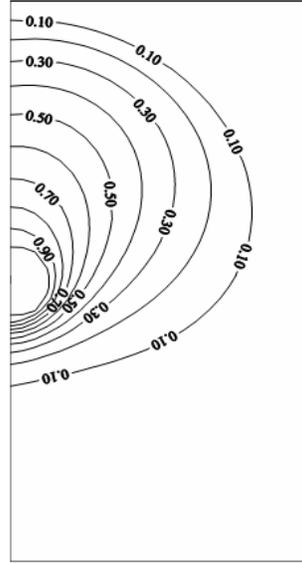
شكل رقم (1): مقطع جانبي مؤشرا عليه ترتيب الوسط السامي والمحاور على الاسطوانة مع مقطع لتوزيع النقاط بطريقة الفروقات المحددة.



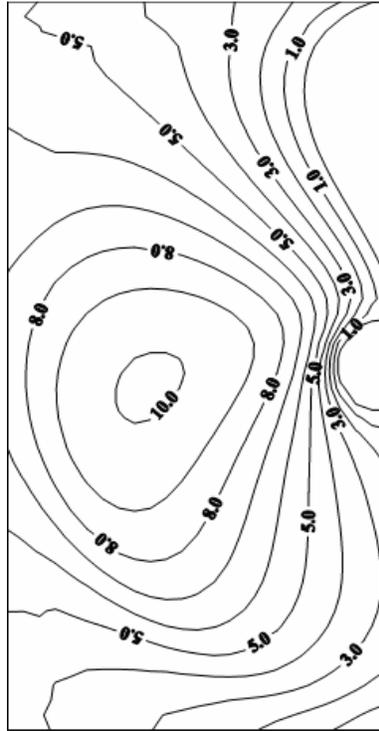
شكل (2): مقطع أمامي للمنشأ التجريبي المستخدم.



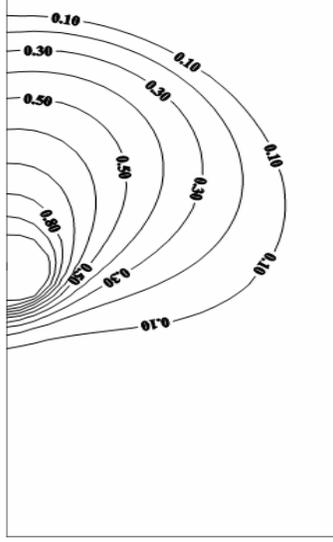
شكل (3): خطوط دالة الجريان عند عدد $(Ra=10)$.



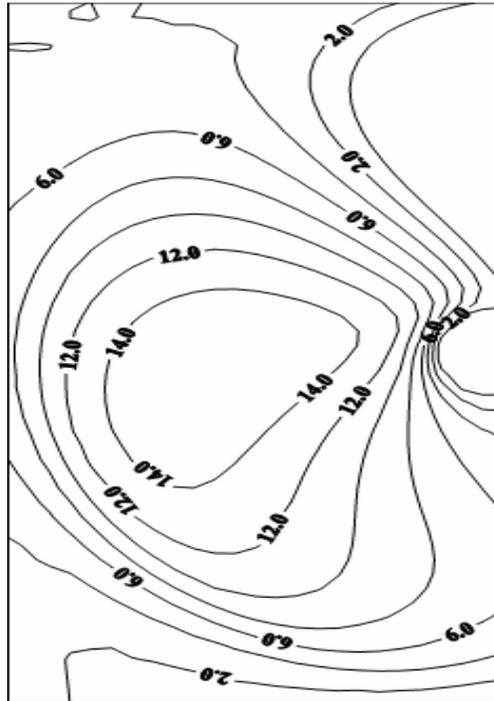
شكل (4): خطوط ثبوت درجة الحرارة عند عدد $(Ra=10)$.



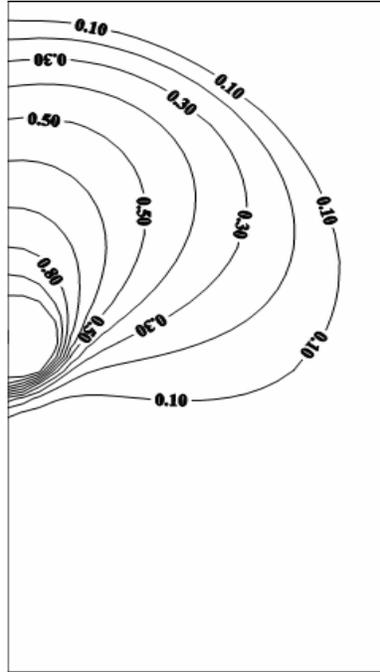
شكل (5): خطوط دالة الجريان عند عدد $(Ra=20)$.



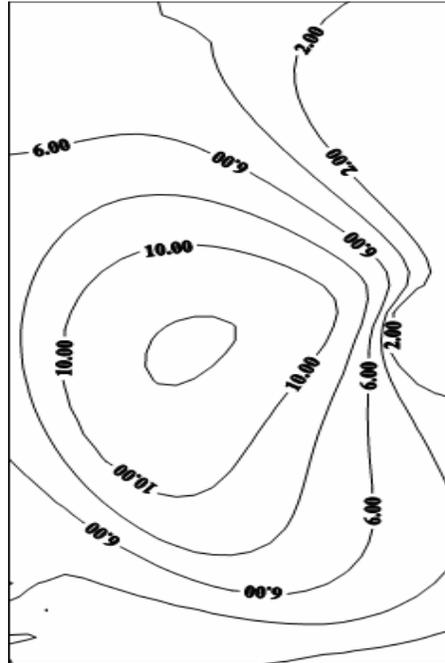
شكل (6): خطوط ثبوت درجة الحرارة عند عدد $(Ra=20)$.



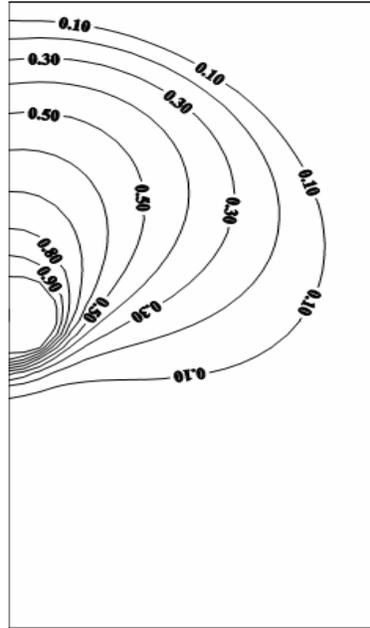
شكل (7): خطوط دالة الجريان عند عدد $(Ra=40)$.



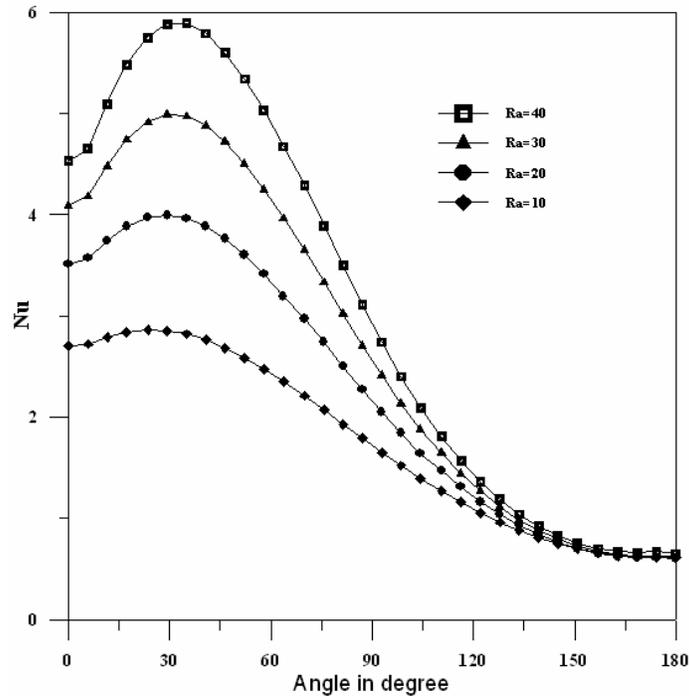
شكل (8): خطوط ثبوت درجة الحرارة عند عدد $(Ra=40)$.



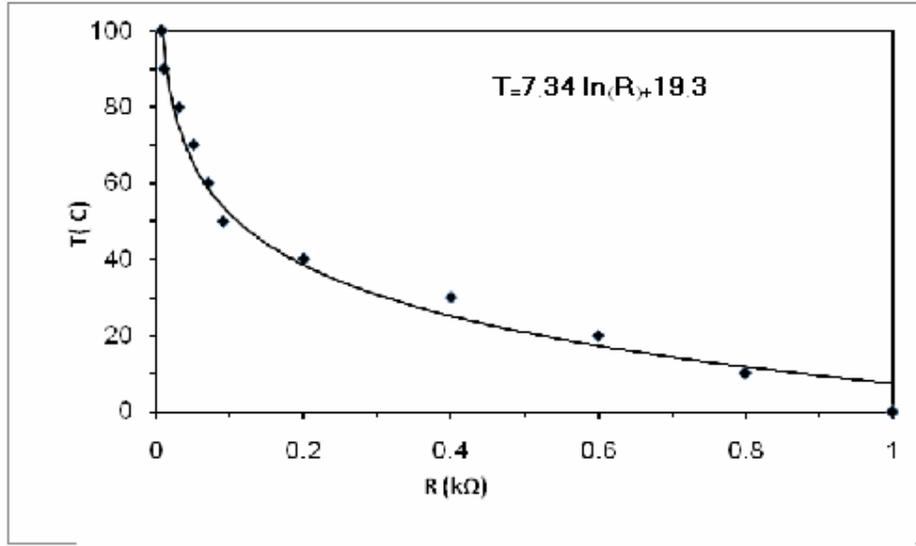
شكل (9): خطوط دالة الجريان عند عدد $(Ra=30)$.



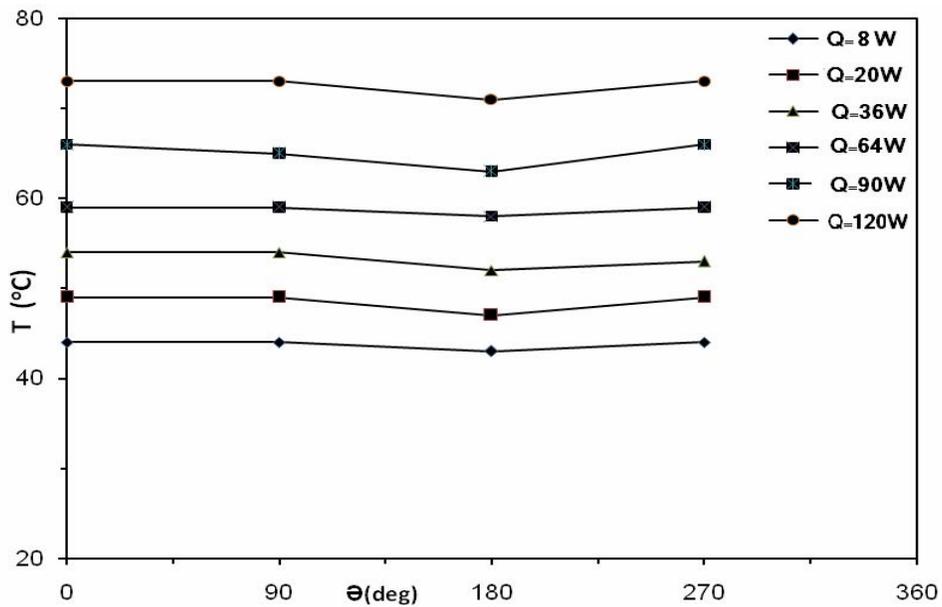
شكل (10): خطوط ثبوت درجة الحرارة عند عدد $(Ra=30)$



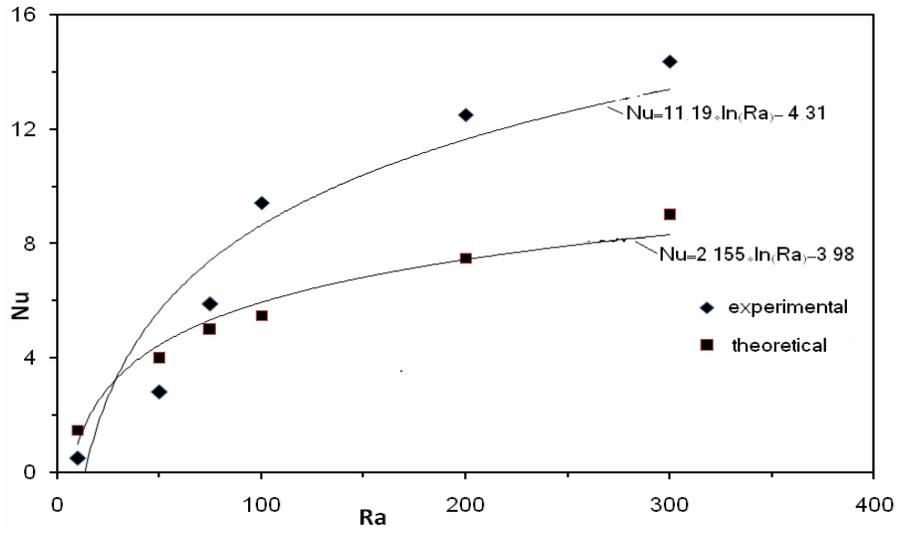
شكل (11): تغير عدد نسلت الموقعي مع الزاوية عند عدد رالي مختلف.



شكل (12): العلاقة بين درجة الحرارة والمقاومة.



شكل (13): توزيع درجة الحرارة على محيط الاسطوانة.



شكل (14): العلاقة بين عدد نسلت وعدد رالي التجريبي والنظري.

A THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY ON STEADY NATURAL CONVECTION HEAT TRANSFER FROM A HORIZONTAL CYLINDER EMBEDDED IN A POROUS MEDIA

Ahmed Hassen Ahmed

Foundation of Technical Education, Technical Institute Hawija

E-mail: ahmadhassan992000@yahoo.com

ABSTRACT:- Theoretical and experimental study of heat transfer steady natural convection from the cylinder embedded in a saturated porous media was carried out. The theoretical part of the work includes the derivation of the governing momentum and energy equation by using Darcy flow model. The two equations are solved by finite difference method with constant cylinder surface temperature, with a Peclet number under steady condition and Rayleigh number ranged between ($10 < Ra < 300$). The experimental part of this work included the construction of an experimental model composed of iron cylinder with a (12mm) in diameter heated internally by an electrical source. The cylinder was embedded in a packing of glass with diameter (12mm) placed in a test section. Both the theoretical and the experimental results revealed that the average heat transfer increased when the Rayleigh increased. The relationship between Nu & Ra for both experimental and theoretical are give us $Nu = 4.311 \ln Ra - 11.1$ and $Nu = 2.155 \ln Ra - 3.98$ respectively.

Key words:- natural convection, porous media, horizontal cylinder.