

## دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر بين اسطوانتين متحدتي المركز مملوءة بوسط مسامي

خليل فرحان ياسين  
مدرس مساعد

عبيد مجيد علي  
مدرس مساعد  
المعهد التقني - الحويجة

د. عمر خليل احمد الجبوري  
مدرس

### الخلاصة

تلعب الأوساط المسامية دورا كبيرا في تحسين انتقال الحرارة وتخزينها، تم في هذا البحث إجراء دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر بين اسطوانتين متحدتي المركز مملوءة بوسط مسامي، تحت شرط تسليط فيض حراري منتظم على الاسطوانة الداخلية وثبوت درجة حرارة السطح الخارجي للاسطوانة الخارجية واستخدام نوعين من الحشوات كوسط مسامي هي الكريات الزجاجية والحديدية، بينت الدراسة ان قابلية الاسطوانة الداخلية على تبديد الحرارة هي دالة لعدد راييلي، ويزداد عدد نسلت بصورة طردية مع زيادة عدد راييلي.

استخدم البرنامج الحاسوبي (Fluent) لبيان التوزيع الحراري وخطوط الجريان داخل الفجوة المحصورة بين الاسطوانتين، وبينت النتائج النظرية ان طبيعة التوزيع الحراري تعتمد بصورة كبيرة على عدد راييلي وان استخدام مادة عالية التوصيل للحرارة كوسط مسامي تسبب في إلغاء دور الحمل بصورة كلية كوسيلة لانتقال الحرارة.

**الكلمات الدالة:** انتقال الحرارة، الحمل الحر، الأوساط المسامية، اسطوانتين متحدتي المركز.

## Expermental And Theoretical Study Of Natural Convection Heat Transfer Between Two Concentric Cylinders Filled With Porous Medium.

Omar K. Ahmed Al\_Joboury  
Lecturer

Obeed Majeed Ali  
Asst. Lecturer

Khalil Farhan Yaseen  
Asst. Lecturer

Technical Institute of Haweja

### Abstract

Porous media have considerable importance in improvement of heat transfer and storage. This research includes an experimental and theoretical study of natural convection heat transfer between two concentric cylinders filled with a porous medium, under condition of applying uniform heat flux on the inner cylinder and constant outer surface temperature for the outer cylinder. Two types of filling material were used as porous medium , iron and glass beads , the study shows that the heat dissipated ability in the inner cylinder is function of Rayleigh number , and the Nusselt number increase is directly proportional with the increase in Rayleigh number .

Fluent program was used to show the heat dissipation and the flow lines inside the gap between the two cylinders , the experimental results show that the nature of the heat distribution depends greatly on Rayleigh number , and the use of highly heat conductive materials as porous medium will completely cancel the convection as a mean of heat transfer.

**Key words:** Heat transfer, Natural convection, Porous medium, and two concentric cylinders.

قائمة الرموز:

الرمز	المعنى	الوحدات
$C_2$	ثابت القصور	-
$d_p$	قطر الكريات الزجاجية او المعدنية	m
$k_f$	معامل التوصيل الحراري للمائع	W/m.°C
$k_s$	معامل التوصيل الحراري للمعدن	W/m.°C
$Ra$	عدد رايلي	-
$S$	حد المصدر	-
$T$	درجة الحرارة	°C
$u$	السرعة باتجاه x	m/sec
$v$	السرعة باتجاه y	m/sec
$w$	السرعة باتجاه z	m/sec
$\phi$	الخاصية	-
$\beta$	معامل التمدد الحراري	1/K
$\rho$	الكثافة الكتلية	Kg/m <sup>3</sup>
$\Gamma$	معامل الانتشار	-
$o$	مرجعية	-
$\varepsilon$	المسامية	-

## المقدمة ومراجعة المصادر:

اكتسب الحمل الحر في العقود الثلاثة الأخيرة من القرن الماضي أهمية بالغة وذلك للحاجة الماسة لهذا النوع من انتقال الحرارة في تطبيقات كثيرة ومنها مستجدة مثل تبريد الأجهزة الإلكترونية وتقليل تسرب الطاقة من خزانات حفظ الطاقة (Energy Storage) وفي تطبيقات التدفئة من جدار ترمب (Trombe Wall). إن لانتقال الحرارة بالحمل الحر من وإلى الاسطوانات أو الأنابيب أهمية صناعية بالغة كما هو الحال في تصميم أجهزة التبريد والتكييف ضمن منظومات نقل الماء الساخن أو المثلج أو منظومات نقل البخار، كذلك هناك أجهزة تعتمد في عملها بشكل كبير على الحمل الحر بالاشتراك مع صيغ أخرى لانتقال الحرارة مثل الإشعاع كما في الأفران الكهربائية أو في تطبيقات أخرى ونظراً لأهمية الطاقة وترشيد استهلاكها من مردود اقتصادي لبلدان العالم ولاسيما الدول التي تفتقر إلى مصادر الطاقة الطبيعية مثل النفط الخام فقد لجأت هذه الدول إلى إيجاد وسائل لتحسين كفاءة منظومات إنتاج وخرن الطاقة، ولما كان الوسط المسامي هو احد المسائل المهمة في عزل وخرن الحرارة فقد توجه الباحثون إلى دراسة انتقال الحرارة في هذه الأوساط وخاصة في العقود الثلاثة الأخيرة. وقد قام الباحثون باستقصاء نظري وتجريبي لانتقال الحرارة خلال الأوساط المسامية وللعديد من الأشكال الهندسية وبظروف محيطية مختلفة<sup>[1]</sup>.

درس الباحثان (Wang and Zhang)<sup>[2]</sup> انتقال الحرارة بالحمل الحر المستقر والانتقالي خلال فجوة حلقيّة تقع بين اسطوانتين عموديتين متحديتي المركز مملوءة بوسط مسامي مشبع بسائل عديداً وعملياً وعاد نفس الباحث<sup>[3]</sup> ودرس انتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة حلقيّة تقع بين اسطوانتين أفقيتين ودرس مرة أخرى<sup>[4]</sup> انتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة حلقيّة تقع بين اسطوانتين مائلتين متحديتي المركز مملوءة بوسط مسامي مشبع بسائل عديداً، ولمدى من أعداد رالي وبزاوية ميلان من (0°) إلى (90°) واستخدم الباحث أعلاه في جميع بحوثه فرضيتي بوسنسك ودارسي وحلت جميع المعادلات عديداً، ومن خلال نتائجها النظرية استنتجوا أن متوسط أعداد نسلت تزداد بزيادة أعداد رالي لأي زاوية ميلان، وأن عدد نسلت الموضوعي يتغير بالاتجاهين الزاوي والمحوري.

درس الباحثان (Braga and lemos)<sup>[5]</sup> انتقال الحرارة بالحمل الحر المضطرب خلال فجوة حلقيّة تقع بين اسطوانتين أفقيتين متحديتي المركز مملوءة بوسط مسامي بصورة نظرية وباستخدام نموذجين من نماذج الجريان المضطرب

الخمسة، وتوصل الباحث إلى مجموعة من العلاقات الارتباطية التي تحكم انتقال الحرارة في الشكل الهندسي المستخدم ودرس تغير التوزيع الحراري مع عدد رايلي.

درس الباحث (هرمز) [6] انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي في وسط مسامي بين اسطوانتين أفقيتين متحدتي المركز بصورة نظرية وباستخدام طرق الحل العددية أخذاً بنظر الاعتبار تأثير الحاجز على انتقال الحرارة في الوسط المسامي . تميزت البحوث السابقة أعلاه جميعها، باستخدام السائل كمنع خلال الوسط المسامي وعدم تغيير نوعية المادة المسامية وبالتالي سوف يصار في البحث الحالي إلى استخدام الهواء كمنع خلال الوسط المسامي واستخدام نوعين من الحشوات هما الكريات الحديدية والزجاجية للوصول إلى فهم واضح للتوزيع الحراري خلال الوسط المسامي باستخدام هذين النوعين من الحشوات وللوصول إلى علاقات ارتباطية تحدد معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر فيها ولإعداد نسلت واطئة.

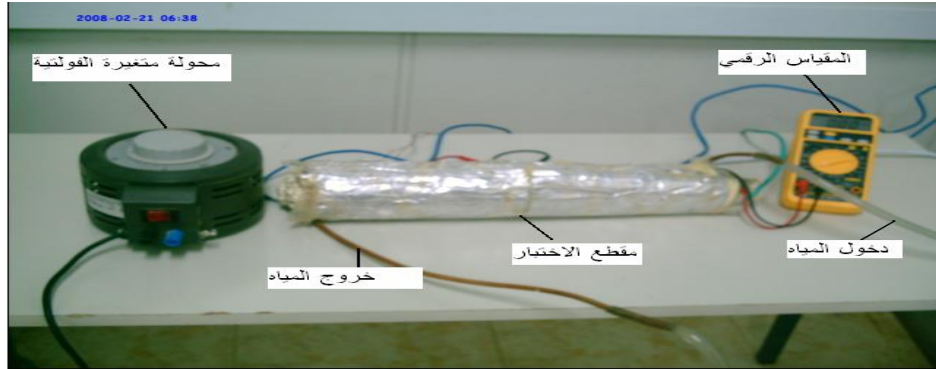
### الجانب العملي والحسابات:

تضمن الجانب العملي دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر داخل الفراغ الحلقي المحصور بين اسطوانتين متحدتي المركز المملوء بوسط مسامي وهذا الوسط المسامي المستخدم على نوعين: الاختيار الأول واستخدم فيه كريات زجاجية بقطر 11 mm وغير إلى كريات حديدية بقطر 3.28 mm في الاختبار الثاني، بني لهذا الغرض منشأ تجريبي (الشكل (1)) يتألف أساساً من عنصر التسخين (الاسطوانة الداخلية) وهو عبارة عن اسطوانة من الألمنيوم بقطر خارجي (22 mm) وطول (410 mm)، تم اختيار نسبة طول الاسطوانة الى القطر لتكون اكبر من (10) لضمان جريان ثنائي البعد حول الاسطوانة [39] وكان القطر الداخلي للاسطوانة الخارجية (60 mm) ، سخنت الاسطوانة الداخلية كهربائياً واستخدم لهذا الغرض جهاز محول قدرة نوع (HSN). اذ يستلم محول القدرة فرق جهد متناوب ثابت تقريباً من مثبت فرق الجهد بمقدار (220V) ويزود فرق جهد متناوب بمدى (0-250V) ولغرض قياس الفولتية الخارجة استخدم جهاز رقمي متعدد القياسات من نوع (LCR-9073) لقياس الفولتية المجهزة الى المسخن لكل اختبار وهذا الجهاز ذو مدى قراءات بين (0-300V) وبدقة (0.001V) واستخدم لقياس التيار الداخل الى المسخن جهاز نوع (Philips) طراز (PM-242/10) لقياس التيار المتناوب المار خلال الدائرة الكهربائية وهو ذو مدى قراءات يتراوح بين (0-6A) وبدقة (0.01A).

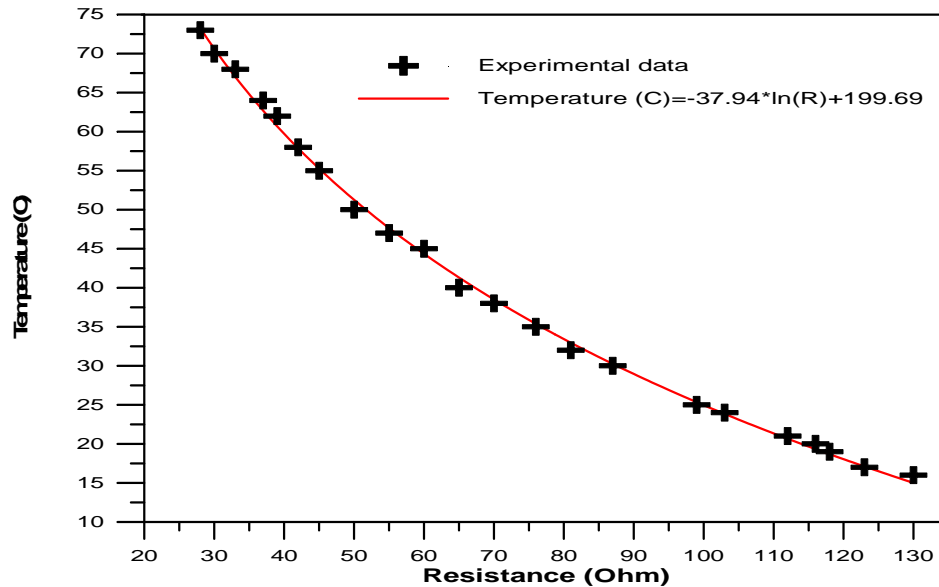
استخدمت عدد من المتحسسات الحرارية (الثرموستات) لقياس درجات الحرارة في النقاط المختلفة من الجهاز، حيث ثبتت أربع متحسسات حرارية منها في وسط الاسطوانة الداخلية بازاحة زاوية مقدارها (90°) عن بعضها البعض، في حين ثبت مزدوجان على مسافة (100 mm) من طرفي الاسطوانة للتأكد من انتظام درجة الحرارة على طولها. تم تبريد الاسطوانة الخارجية، عبر لفها بملف تبريد بصورة محكمة وتم تثبيت زوج من المتحسسات الحرارية على محيط الاسطوانة في منطقة المنتصف لقياس درجة الحرارة وعزل السطح الخارجي لملف التبريد بالصوف الزجاجي لغرض تقليل انتقال الحرارة من الجهاز إلى المحيط الخارجي تم إجراء الاختبارات على عدد من المراحل للقدرة الكهربائية لتسخين الاسطوانة الداخلية وجميع الاختبارات أجريت عند شرط ثبوت الفيض الحراري على سطح الاسطوانة الداخلية وثبوت درجة الحرارة على سطحي الأسطوانة الخارجية. تمت معايرة المتحسسات الحرارية نسبة إلى محرار زئبقي قياسي قبل أخذ قراءات درجات الحرارة والشكل (2) يمثل منحنى المعايرة للمتحسسات المستخدمة في التجربة.

إن الطريقة التي أجريت بها تجارب الحمل الحر خلال الوسط المسامي للحالة المركزية موضحة بالنقاط الآتية:-

1. يثبت الجهاز بالوضع الأفقي ويتم التأكد من ذلك بصورة دقيقة بواسطة منقلة تحديد المستوى.
2. يزود مسخن الاسطوانة الداخلية بالقدرة الكهربائية المنتخبة من خلال تغيير فولتية خروج المحولة المتغيرة المستخدمة وبالنتيجة التحكم في كمية الحرارة المتبددة من الاسطوانة الداخلية .
3. تسجيل قراءات المتحسسات الحرارية لسطحي الاسطوانتين عن طريق جهاز قياس المقاومة الكهربائية والتي يتم تحويلها إلى درجة حرارة عن طريق المعادلة المستنتجة من منحنى المعايرة.
4. يتم الاستمرار في أخذ القراءات كل 10 دقائق حتى الوصول إلى حالة الاستقرار، حيث يتم تسجيل قيم التيار والفولتية المجهزين للمسخن.
5. تغير القدرة المجهزة إلى المسخن، وتعاد الخطوات (3, 4) أعلاه في كل مرة.



الشكل (1) المنشأ التجريبي المستخدم في البحث الحالي



الشكل (2) منحنى المعايرة للمتحسسات الحرارية (Thermistor) المستخدمة في التجربة

لغرض وصف عملية انتقال الحرارة الخاصة بالدراسة الحالية نحتاج إلى قياسات وحسابات تتعلق بهذه العملية، حيث تتولد طاقة حرارية في المسخن نتيجة لمرور التيار الكهربائي وتنتقل هذه الطاقة بين هذين الاسطوانتين المتحديتين المركز بطريقتين رئيسيتين هما التوصيل والحمل وغالبا ما يعبر عن بيانات انتقال الحرارة بشكل لابعدي، حيث يتم تحليل المعطيات العملية المستخلصة من الاختبارات وذلك بتحويل هذه المعطيات إلى الشكل اللابعدي ممثلة بعدد رايلي (Ra) ومتوسط عدد نسلت (Nu) للتجارب العملية، تحسب القدرة الكلية المجهزة للمسخن من المعادلة الآتية:

$$Q = I * V \quad \dots (1)$$

وبإهمال الخسائر الحرارية من الجوانب نتيجة العزل الجيد فان صافي معدل الحرارة المنقلة بين الاسطوانتين سوف يكون مساوي إلى القدرة الكهربائية الداخلة وعلى هذا الأساس فان متوسط معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر تستخدم المعادلة الآتية:

$$\bar{h} = \frac{Q}{\pi d L \Delta T} \quad \dots (2)$$

ولحساب خواص الهواء التي تدخل في الحسابات وهي معامل التوصيل الحراري  $(K)(w/m.K)$  واللزوجة الكينماتية  $(\nu)(m^2/s)$  ومعامل التمدد الحراري  $(\beta)(1/K)$  والانتشارية الحرارية  $(\alpha)(m^2/s)$  نستخدم الجدول الخاص بخواص الهواء من المصدر<sup>[6]</sup>، حيث تحسب عند معدل درجة حرارة الاسطوانة الداخلية ودرجة حرارة الاسطوانة الخارجية  $(T_m)$  والتي تحسب كالآتي :

$$T_m = \frac{T_i + T_o}{2} \quad \dots (3)$$

إما الإعداد اللاعبدية اللازم حسابها فهي كالآتي :-

### 1. متوسط عدد نسلت $(Nu)$ :

يمثل عدد نسلت معامل انتقال الحرارة اللاعبدي، إذ يمثل نسبة الحمل الحراري إلى التوصيل الحراري، ويحسب متوسط عدد نسلت من المعادلة الآتية<sup>[7]</sup>:

$$\overline{Nu}_i = \frac{\overline{hd}_p}{k_e} \quad \dots (4)$$

حيث إن  $k_{eff}$  معامل التوصيل الحراري الفعال ويحسب من المعادلة الآتية:

$$k_{eff} = k_f \phi + (1 - \phi)k_s \quad \dots (5)$$

### 2. عدد راييلي $(Ra)$ :

يعرف عدد راييلي على أنه حاصل ضرب عدد كراتشوف في عدد براندتل ويحسب من المعادلة الآتية<sup>[4]</sup>:

$$Ra = \frac{g\beta_f \rho_o \rho_f C_{pf} (R_o - R_i) \alpha (T_i - T_o)}{k_{eff} \mu} \quad \dots (6)$$

### الجانب النظري:

استخدم البرنامج الحاسوبي (Fluent) لدراسة وتحليل أنماط الجريان و توزيع درجات الحرارة خلال الفجوة المحصورة بين الاسطوانتين المملوءة بوسط مسامي، وهو أحد البرامج الرئيسية المعتمدة حالياً في العالم لتحليل الجريان والتحليل الحراري في الأشكال المعقدة حيث يتم تحويل معادلات الانتقال التفاضلية التي تحكم عمليات الجريان وانتقال الطاقة والتي تمثل معادلات الاستمرارية (حفظ الكتلة) والزخم والطاقة إلى معادلات أنية بالشكل الآتي:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u\phi)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v\phi)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w\phi)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma \frac{\partial\phi}{\partial x} \right) + \dots (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma \frac{\partial\phi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \Gamma \frac{\partial\phi}{\partial z} \right) + S$$

يتعامل البرنامج الحاسوبي (Fluent) مع تأثير الوسط المسامي في خواص الجريان عن طريق إدخال تأثيره في معادلة الزخم بجعل الحد الأخير من المعادلة أعلاه، المسمى حد المصدر  $(S)$  بالشكل الآتي:

$$S = - \left( \frac{\mu}{K} v_i + C_2 \frac{1}{2} \rho |v| v_i \right) \quad \dots (8)$$

حيث إن الحد الأول في الطرف الأيمن من المعادلة يمثل تأثير خسائر اللزوجة (حد دارسي)، أما الحد الثاني في نفس الطرف فيمثل تأثير خسائر القصور (Inertia loss). و  $K$  ثابت تجريبي يسمى النفاذية ويمكن حسابه باستخدام المعادلة الآتية:

$$K = \frac{d_p^2 \phi^3}{175(1-\phi)^2} \quad \dots\dots (9)$$

حيث ان  $\phi$  تمثل المسامية وتحسب من المعادلة الآتية:

$$\varepsilon = \frac{V_f}{V_t} \quad \dots\dots (10)$$

إما معادلة الطاقة فالتغير الوحيد الذي سوف يجرى عليها هو استخدام ثابت التوصيل الحراري الفعال  $k_{eff}$  لتمثيل معامل التوصيل الحراري في معادلة الطاقة ويمكن حساب معامل التوصيل الحراري الفعال من المعادلة (5).

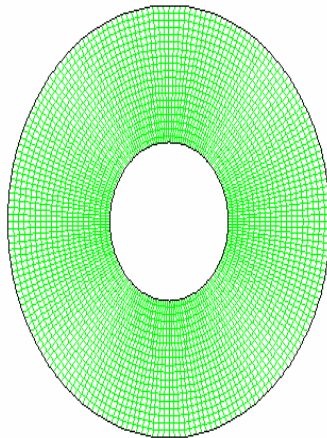
تحول معادلات الاستمرارية والزخم والطاقة باستخدام طريقة الحجم المحددة إلى معدلات أنية يمكن بواسطتها إيجاد قيمة أي خاصية في النقطة (P) مركز الحجم المسيطر بدلالة قيم الخاصية في النقاط المجاورة بالشكل الآتي:

$$a_P \phi_P = a_W \phi_W + a_E \phi_E + a_S \phi_S + a_N \phi_N + \dots\dots\dots (11)$$

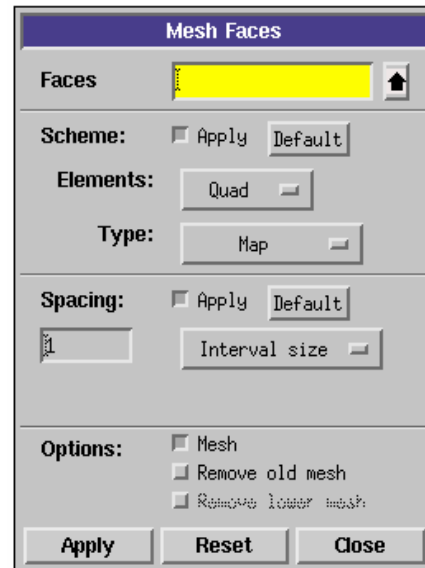
$$a_B \phi_B + a_T \phi_T + a_P^0 \phi_P^0 + S_u$$

يتم تكامل كل معادلة من معادلات الاستمرارية والزخم والطاقة داخل كل حجم مسيطر وذلك بعد تقسيم الحيز داخل الخزان إلى عدد من هذه الحجم وتوفر هذه الطريقة ضمان حفظ الزخم والطاقة داخل كل حجم وبالتالي تعتبر هذه الطريقة أكثر قبولا من طريقة الفروق المحددة أو العناصر المحددة.

تم بناء النموذج والتوليد الشبكي الخاص بالاسطوانتين المتحديتي المركز (الشكل (3)) بواسطة برنامج ملحق يسمى (Gambit)، ويوفر هذا البرنامج مجموعة من الخيارات التي تمكن المستخدم من تحديد الاستخدام الأمثل للبرنامج ومبينة في الشكل (4) والتي تشمل نوع العنصر المستخدم حيث استخدم العنصر (Quadrilateral element) وحجم العنصر بالإضافة إلى إن البرنامج يقوم بفحص التوليد الشبكي بصورة تلقائية لتحديد أماكن الخل فيه، علما ان الملفات المساعدة لهذا البرنامج لا تحتوي على المعادلات التي يستخدمها لهذا الغرض.



Grid Sep 25, 2008  
FLUENT 6.3 (2d, pbns, lam)



الشكل (3) التوليد الشبكي للحيز المحصور بين الاسطوانتين المملوء بوسط مسامي

الشكل (4) واجهة البرنامج (Gambit) التي يتم فيها اختيار نوع العنصر وحجمه لغرض التوليد الشبكي للنموذج.

تم استخدام نفس الظروف الحدية المستخدمة في الجانب العملي، وتم تسليطها وفق الخيارات الموصى بها من قبل الشركة المنتجة لحل مسائل الحمل الحر كما في المصدر<sup>[5]</sup> و افترضت الفرضيات الآتية لحل المسألة وهي:

1. الحمل الطبيعي في الحيز طباقي ومستقر .
2. إهمال حد الانتشار (Viscous dissipation term) في معادلة الطاقة.
3. المائع الذي يشغل الحيز وهو الهواء غير انضغاطي ومتحرك باتجاهين.
4. جميع خواص الهواء ثابتة عدا الكثافة وسوف يصار إلى اعتماد افتراض بوسنسك والذي ينص على:

$$\rho \cong \rho_o * (1 + \beta * (T_o - T)) \quad \dots\dots (12)$$

5. اختيار الخوارزمية (SIMPLE) لربط معادلات الزخم والطاقة وهي ملائمة للحالات المستقرة.
6. اختيار الخوارزمية (PRESTO scheme) لحل حد الضغط في معادلة الزخم.

## النتائج والمناقشة:

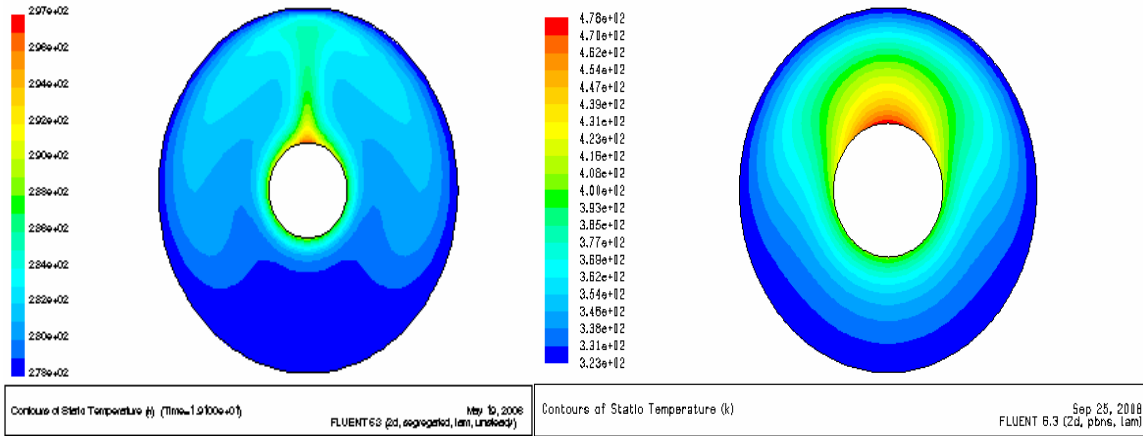
### 1. التوزيع الحراري:

إن رسم مجال درجات الحرارة يعطي طريقة مهمة لفهم وملاحظة التوزيع الحراري في الحيز المحصور بين الاسطوانتين، يبين الشكل (5) التوزيع الحراري ما بين الاسطوانتين عند استخدام الكريات الزجاجية كوسط مسامي، حيث يمكن ملاحظة ذلك من خطوط ثبوت درجات الحرارة التي تتحرك بصورة متسارعة بعيداً عن سطح الأسطوانة الداخلية كلما اقتربنا من الموقع الأعلى (الرأسي)، تبدأ خطوط ثبوت درجات الحرارة كما في الشكل بالابتعاد عن الأسطوانة الداخلية عند الصعود من الموقع الأسفل للأسطوانة الداخلية ( $\phi=180^\circ$ )، وهذه السلوكية نتيجة لتأثير اللزوجة، إذ إن المائع القريب من أسفل الأسطوانة الداخلية سوف يسخن ويتحرك إلى الأعلى على طول محيط الأسطوانة بسبب فرق الكثافة الناتج عن اختلاف درجات الحرارة، ونتيجة لوجود اللزوجة بين جزيئات المائع فإن المائع الساخن الصاعد سوف يحاول أن يسحب معه جزيئات المائع القريبة منه والتي تكون عادةً أبرد منه، كما يلاحظ تكون انحدار حراري عالي في المنطقة العلوية من الاسطوانة ويختلف هذا التوزيع الحراري خلال الوسط المسامي عن التوزيع الحراري بين اسطوانتين تحصر هواء بينهما من دون وسط مسامي والمدروسة من قبل الباحث<sup>[7]</sup> والمبينة في الشكل (6) والتي يلاحظ فيها تكون ما يسمى بريشة الطفوف، كما يبدو ان خطوط ثبوت درجة الحرارة تكون بشكل متراسف ويتشوه اقل في حالة الوسط المسامي (الشكل (5)) بسبب التأثير الملحوظ للتوصيل الحراري، ونتيجة لذلك فإن معدل انتقال الحرارة في هذه المنطقة يكون بشكل كبير، كما تتكون منطقة راكدة صغيرة في أسفل الحلقة (الشكل (5)) بالمقارنة بالشكل (6) وهذه المنطقة يكون الحمل فيها قليل ويمثل حالة المائع المستقر حرارياً بين صفيحتين مستويتين تكون الصفيحة الأعلى اسخن من السفلى.

الشكل (7) يمثل التوزيع الحراري داخل الفجوة عند استخدام الكريات الحديدية كوسط مسامي ويلاحظ إن التوزيع الحراري عبارة عن دوائر متحدة المركز وهذا ناتج عن إن دور التوصيل الحراري في نقل الحرارة اكبر بكثير من تأثير الحمل كوسيلة لانتقال الحرارة بسبب الموصلية الحرارية العالية للمادة المصنوعة منها الكريات المعدنية والتي تبلغ حوالي ( $15.6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) بالمقارنة مع الكريات الزجاجية والتي تبلغ الموصلية الحرارية لها ( $0.7 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ).

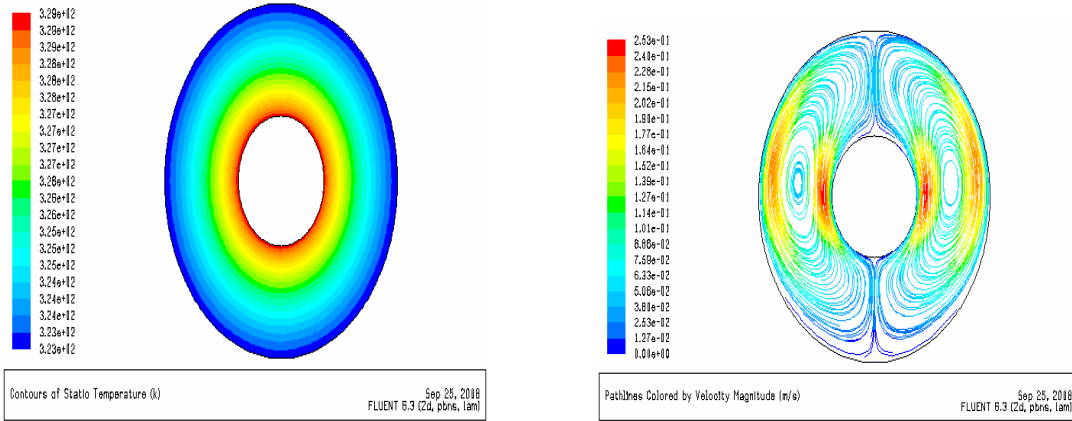
### 2. أنماط الجريان:

إن التعرف على طبيعة حركة المائع داخل الحيز المحصور توفر أرضية متينة لفهم طبيعة انتقال الحرارة في الأشكال المعقدة، في الشكل (8) بيان لخطوط الجريان عندما كانت الوسط المسامي مكون الكريات الزجاجية، حيث يمكن ملاحظة أنه جزيئات الهواء تقترب من سطح الاسطوانة الداخلية الخارجي حاملة معها الطاقة الحرارية القادمة من المسخن الكهربائي لتتحرك إلى أعلى نقطة من النظام ومن ثم تنزل مع السطح الداخلي للأسطوانة الخارجية لتكون حركة المائع داخل الحيز على شكل دوامات هلالية، ويسلك المائع نفس السلوك عند استخدام الكريات الحديدية كوسط مسامي (الشكل (9)) ماعدا إن مركز الدوامات ينزل بصورة قليلة نحو الأسفل وإن مستويات سرعة المائع داخل الحيز عند استخدام الكريات الزجاجية قليل بالمقارنة مع الكريات المعدنية وهذا راجع إلى انخفاض الطاقة الحرارية المكتسبة من قبل الهواء المحصور في حالة الكريات الزجاجية والتي تسبب بطئ حركة المائع داخله.



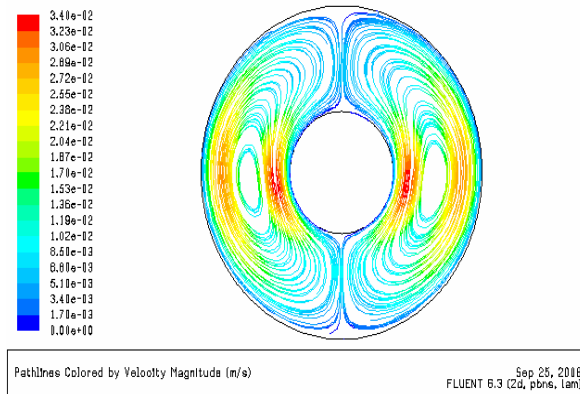
الشكل (5) التوزيع الحراري عندما كان الوسط المسامي مكون من الكريات الزجاجية

الشكل (6) التوزيع الحراري بين اسطوانتين يحتويان على هواء فقط مأخوذ من المصدر [6]



الشكل (7) التوزيع الحراري عندما كان الوسط المسامي مكون من الكريات المعدنية

الشكل (8) أنماط الجريان للوسط المسام لمكون من الكريات الزجاجية

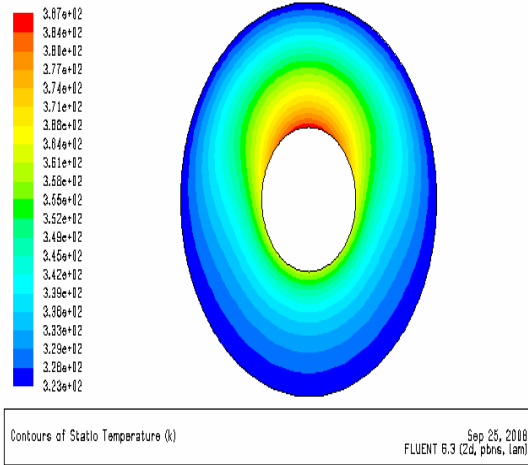


الشكل (9) أنماط الجريان للوسط المسامي لمكون من الكريات المعدنية

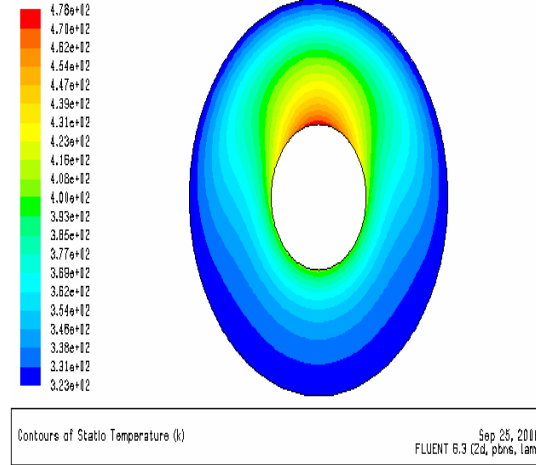


### 3. تأثير عدد رالي على التوزيع الحراري:

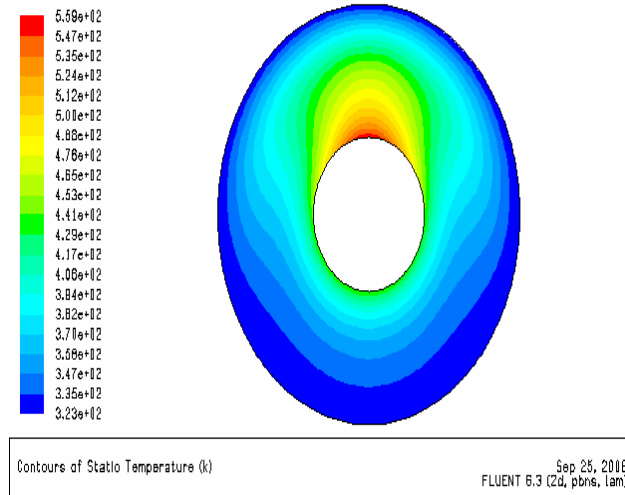
يتضمن تعريف عدد رالي قوة الطفو التي تمثل المحرك الرئيس لجريان المائع داخل الفجوة، وبذلك فإن زيادة عدد رالي تؤدي إلى زيادة تيارات الحمل المتكونة خلال الفجوة والتي تقوم بنقل المائع البارد للملاصق للجدار الخارجي البارد إلى الجدار الداخلي الحار مما يسبب أولاً جرف للطبقة المتاخمة الحرارية على الجدار الداخلي، وثانياً زيادة الفرق بدرجة الحرارة بين الجدار الساخن والمائع مما يؤدي إلى زيادة انتقال الحرارة ومنهياً بذلك طور التوصيل الحراري حيث يكون المائع في أسفل الفجوة شبه ساكناً. بزيادة عدد رالي نلاحظ زيادة ارتفاع الهالة الحرارية ونحف عرضها، يصاحب ذلك زيادة ملحوظة بانتقال الحرارة كما مبين في الشكل (10).



عدد رالي = (160)



عدد رالي = (313)



عدد رالي = (590)

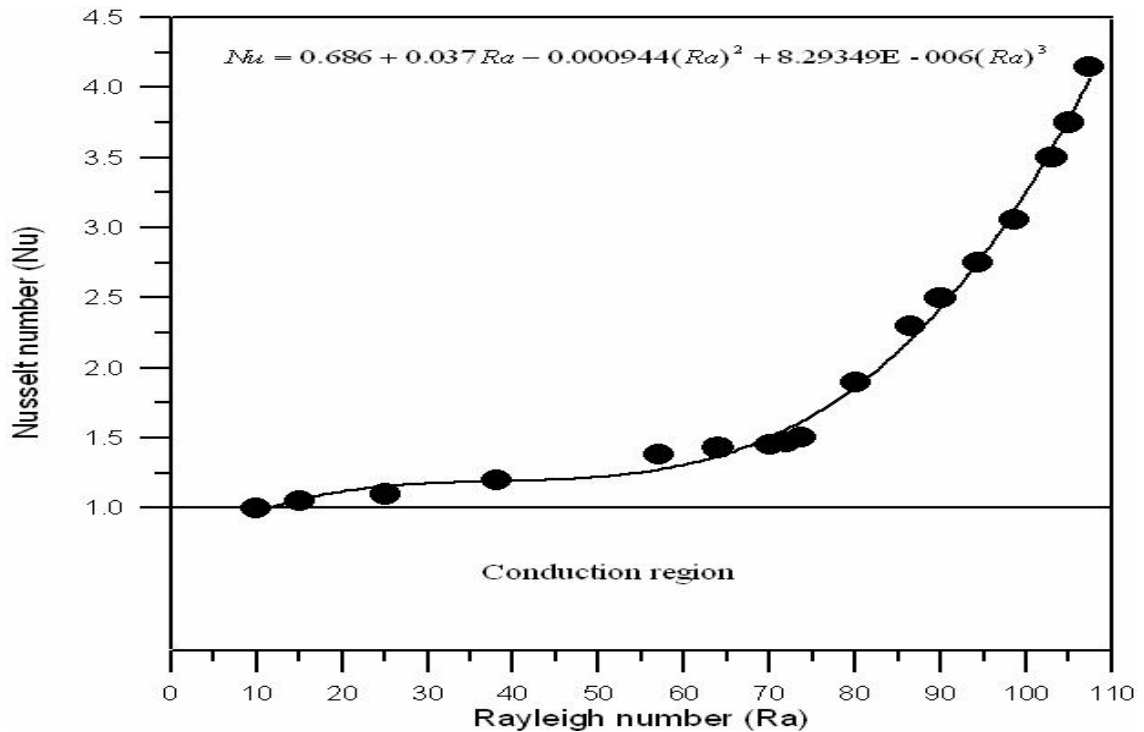
الشكل (10) تأثير عدد رالي على التوزيع الحراري

## 4. المعادلات الارتباطية للنتائج العملية:

إن الغرض الأساسي من العمل التجريبي هو الحصول على معادلة تربط بين المتغيرات الداخلة في التحليل ولأقصى مدى الاختبار وذلك لتسهيل فهم سلوكية الظاهرة قيد الدراسة، يوصف انتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة حلقيّة أفقيّة متحدة المركز بدلالة عدد نسلت ( $Nu$ ) الذي يكون بدوره دالة لعدد رالي ( $Ra$ )، ومن الواضح أن قيم عدد نسلت التي تم الحصول عليها من نتائج الدراسة التجريبية ربطت بالمعادلة الارتباطية الآتية:

$$Nu = 0.686 + 0.037Ra - 0.000944(Ra)^2 + 8.29349E - 006(Ra)^3 \quad \dots(8)$$

حيث نلاحظ ان قيم عدد نسلت تزداد بزيادة عدد رالي ويمكن استخدام المعادلة أعلاه المستخلصة عملياً بنجاح في التنبؤ بالسلوك الحراري للجريان خلال فجوة حلقيّة أفقيّة متحدة المركز مملوءة بوسط مسامي بتأثير الحمل الحر وضمن أعداد رالي لمحصورة بين 10-110، لاحظ الشكل (11).



الشكل (11) تغير عدد نسلت ( $Nu$ ) مع عدد رالي ( $Ra$ )

## الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال النتائج المستحصلة نجد ما يلي:

1. إن رسم مجال درجات الحرارة يعطي طريقة مهمة لفهم وملاحظة التوزيع الحراري في الحيز المحصور بين الاسطوانتين.
2. يختلف التوزيع الحراري في الوسط المسامي عن غيرها بكونه اقل حدة في الانحدار الحراري.
3. إن استخدام مادة عالية التوصيل للحرارة كوسط مسامي تسبب في إلغاء دور الحمل كوسيلة لانتقال الحرارة.
4. يعتمد التوزيع الحراري داخل الوسط المسامي بصورة كبيرة على عدد رالي.
5. تكون حركة المائع داخل الحيز على شكل دوامات هلالية، ويسلك المائع نفس السلوك عند استخدام الكريات الحديدية كوسط مسامي وهو مشابه لحركة المائع داخل اسطوانتين متحدتتي المركز بدون الوسط المسامي.
6. دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر بين اسطوانتي غير متحدتتي المركز مملوءتين بوسط مسامي.

#### المصادر:

1. المتبوتي، عطا الله حسين جاسم، دراسة نظرية وعملية للحمل ألقسري الطباقى خلال أنبوب أفقى مملوء بوسط مسامى مشبع، أطروحة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة تكريت.
2. Wang,B.X. and Zhang,X., Numerical and experimental investigations on the transient and steady-state natural convection in a vertical liquid saturated porous annulus. In heat transfer science and technology 1988, pp.417-423, Hemisphere, New york.
3. Wang,B.X. and Zhang,X., Transient natural convection in a horizontal liquid- saturated porous-media annulus. Chinese J. of engng thermophyse. Vol 10, no.3,pp 287-292, 1989.
4. Wang,B.X. and Zhang,X., Natural convection in liquid-saturated porous media between concentric inclined cylinders. Inter. J. of Heat and mass transfer, Vol 33, no.5, pp 827-833, 1990.
5. Braga ,E.J. and Lemos.J.S, Simulation of turbulent natural convection in a porous cylindrical annulus using a macroscopic two-equation model. Inter. J. of Heat and mass transfer, Vol 49, pp 4340-4351, 2006.
6. هرمز، جورج دانبال مطلوب ، تأثير الحاجز على انتقال الحرارة بالحمل الطباقى فى وسط مسامى بين اسطوانتين أفقيتين متحدتي المركز - دراسة عددية .، أطروحة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل.
7. الجبوري، عمر خليل، دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر الطباقى الانتقالي بين اسطوانتين أفقيتين غير متحدتي المركز، مجلة جامعة تكريت للعلوم الهندسية، المجلد (14)، العدد الأول، 2007..