

## دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر بين اسطوانتين مائلتين متحدتي المركز بينهما وسط مسامي

عبيد مجيد علي، مدرس مساعد

المعهد التقني - الحويجة

### الخلاصة

تلعب الأوساط المسامية دورا كبيرا في تحسين انتقال الحرارة وتخزينها، تم في هذا البحث إجراء دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر للحالة العابرة والمستقرة بين اسطوانتين مائلتين متحدتي المركز ، والفجوة المتكونة بين الاسطوانتين مملوءة بوسط مسامي ، تحت شرط تسليط فيض حراري منتظم على الاسطوانة الداخلية وثبتت درجة حرارة السطح الخارجي للاسطوانة الخارجية ، استخدمت الكريات الزجاجية كوسط مسامي ، بينت الدراسة ان قابلية الاسطوانة الداخلية على تبديد الحرارة هي دالة لعدد رالي، ويزداد عدد نسلت بصورة طردية مع زيادة عدد رالي عند الوصول إلى الحالة المستقرة .

استخدم البرنامج الحاسوبي (Fluent) لبيان التوزيع الحراري وخطوط الجريان داخل الفجوة المحصورة بين الاسطوانتين في الوضع الأفقي والمائل، وبينت النتائج العملية إن طبيعة التوزيع الحراري تعتمد بصورة كبيرة على عدد رالي وان زاوية الميلان تؤثر بصورة كبيرة على طبيعة هذا التوزيع ، تم وضع معادل تجريبية لربط عدد نسلت مع عدد رالي ضمن الظروف التي تمت فيها الدراسة.

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

### *Experimental and Theoretical Study of Natural Convection Heat Transfer between Two Inclined Concentric Cylinders Filled With Porous Media*

#### Abstract

Porous media have considerable importance in improvement of heat transfer and storage. This research includes an experimental and theoretical study of transient and steady state natural convection heat transfer between two inclined 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. Glass beads was used as porous medium , 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 in the steady state .

Fluent program was used to show the heat dissipation and the flow lines inside the gap between the two cylinders in the horizontal and inclined situation, the experimental results show that the nature of the heat distribution depends greatly on Rayleigh number, and the angle of inclination of the cylinders. An experimental relationship between  $Nu$  &  $Ra$  was obtained under the study conditions.

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

الرمز	المعنى	الوحدات	قائمة الرموز
$C_2$	ثابت القصور	-	الحر من والى الاسطوانات أو الأنايبب أهمية
$d_p$	قطر الكريات الزجاجية او المعدنية	m	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 ونظرا 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 الإشكال الهندسية وبظروف محيطية مختلفة <sup>[1]</sup> .
$k_f$	معامل التوصيل الحراري للمائع	W/m.°C	
$k_s$	معامل التوصيل الحراري للمعدن	W/m.°C	
$R$	نصف قطر الاسطوانة	m	
$Ra$	عدد رايبي	-	
$S$	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	-	

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 ويزوايا 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

#### المقدمة

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

رالي لأي زاوية ميلان، وأن عدد نسلت الموضوعي يتغير بالاتجاهين الزاوي والمحوري.

درس الباحثان (Braga and lemos) [5] انتقال الحرارة بالحمل الحر المضطرب خلال فجوة حلقيّة تقع بين اسطوانتين أفقيّتين متحديتي المركز مملوءة بوسط مسامي بصورة نظرية وباستخدام نموذجين من نماذج الجريان المضطرب ، وتوصل الباحث إلى مجموعة من العلاقات الارتباطية التي تحكم انتقال الحرارة في الشكل الهندسي المستخدم ودرس تغير التوزيع الحراري مع عدد راييلي.

درس الباحث (هرمز) [6] انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي في وسط مسامي بين اسطوانتين أفقيّتين متحديتي 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 كمائع خلال الوسط المسامي وبالتالي سوف يصار في البحث الحالي إلى استخدام الهواء كمائع خلال الوسط المسامي للوصول إلى فهم واضح للتوزيع الحراري خلال الوسط المسامي بين اسطوانتين مائلتين وللوصول إلى علاقات ارتباطية تحدد معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر فيها ولإعداد نسلت واطئة.

تميزت البحوث السابقة أعلاه جميعها، باستخدام السائل كمائع خلال الوسط المسامي وبالتالي سوف يصار في البحث الحالي إلى استخدام الهواء كمائع خلال الوسط المسامي للوصول إلى فهم واضح للتوزيع الحراري خلال الوسط المسامي بين اسطوانتين مائلتين وللوصول إلى علاقات ارتباطية تحدد معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر فيها ولإعداد نسلت واطئة.

استخدمت عدد من المتحسسات الحرارية (الثرموستات) لقياس درجات الحرارة في النقاط المختلفة من الجهاز، حيث ثبتت أربع متحسسات حرارية منها في وسط الاسطوانة الداخلية بإزاحة 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 بإزاحة زاوية مقدارها (180°) 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

#### الجانب العملي والحسابات:

تضمن الجانب العملي دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر داخل الفراغ الحلقي المحصور بين اسطوانتين متحديتي المركز المملوء بوسط مسامي ، والوسط المسامي المستخدم عبارة عن كريات زجاجية بقطر 12 mm للحالتين الأفقية والمائلة ، بني لهذا الغرض منشأ تجريبي (الشكل (1)) يتألف أساساً من عنصر التسخين (الاسطوانة الداخلية) وهو عبارة عن اسطوانة من الألمنيوم بقطر خارجي (20

المعطيات العملية المستخلصة من الاختبارات وذلك بتحويل هذه المعطيات إلى الشكل اللابيدي ممثلة بعدد رابلي (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 المنتقلة 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 الكيمائية (v)(m<sup>2</sup>/s) ومعامل التمدد أحراري (β)(1/K) والانتشارية الحرارية (α)(m<sup>2</sup>/s) نستخدم الجدول الخاص بخواص الهواء من المصدر<sup>[6]</sup>، حيث تحسب عند معدل درجة حرارة الاسطوانة الداخلية ودرجة حرارة الاسطوانة الخارجية (T<sub>m</sub>) والتي تحسب كالآتي :

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

إما الإعداد اللابيدي اللازم حسابها فهي كالآتي:-

#### متوسط عدد نسلت (Nu):

يمثل عدد نسلت معامل انتقال الحرارة اللابيدي، إذ يمثل نسبة الحمل الحراري إلى التوصيل

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 اخذ القراءات كل 10 دقائق حتى الوصول إلى حالة الاستقرار، حيث يتم تسجيل قيم التيار والفولتية المجهزين للمسخن.
5. تغيير القدرة المجهزة إلى المسخن، وتعاد الخطوات (3, 4) أعلاه في كل مرة.
6. يثبت الجهاز بوضع مائل بزاوية (45°) ويتم التأكد من ذلك بصورة دقيقة بواسطة منقلة تحديد المستوى وتعاد الخطوات (2, 5) أعلاه في كل مرة.

لغرض وصف عملية انتقال الحرارة الخا-

44

بالدراسة الحالية نحتاج إلى قياسات وحسابات تت بهذه العملية، حيث تتولد طاقة حرارية في المسخن نتيجة لمرور التيار الكهربائي وتنتقل هذه الطاقة بين هذين الاسطوانتين أمتحديتي المركز بطريقتين رئيسيتين هما التوصيل والحمل وغالبا ما يعبر عن بيانات انتقال الحرارة بشكل لابيدي، حيث يتم تحليل

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:

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

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:

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

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

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

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 معادلات آنية يمكن بواسطتها إيجاد قيمة أي خاصية في النقطة (P) مركز الحجم المسيطر بدلالة قيم الخاصية في النقاط المجاورة بالشكل الآتي:

الحراري، ويحسب متوسط عدد نسلت من المعادلة الآتية<sup>[7]</sup>:

$$\overline{Nu}_i = \frac{\bar{h}d_p}{k_e} \dots (4)$$

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

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

#### عدد رايلى (Ra):

يعرف عدد رايلى على انه حاصل ضرب عدد كراشوف في عدد براندتل ويحسب من المعادلة الآتية<sup>[4]</sup>:

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

#### 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 آنية بالشكل الآتي:

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

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

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:

#### 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 في الوضع المائل ، حيث يمكن ملاحظة ذلك من خطوط ثبوت درجات الحرارة التي تتحرك بصورة متسارعة بعيداً عن سطح الأسطوانة الداخلية ، تبدأ خطوط ثبوت درجات الحرارة كما في الشكل بالابتعاد عن المحيط الخارجي للأسطوانة الداخلية وبصورة غير منتظمة بين الموقع الرأسي والموقع الأسفل للأسطوانة الداخلية وبمقدار قليل والنتائج عن ميلان الاسطوانتين ، وهذه السلوكية نتيجة لتأثير اللزوجة وزاوية الميلان، إذ إن المائع القريب من أسفل الأسطوانة الداخلية سوف يسخن ويتحرك إلى الأعلى بصورة لولبية حول محيط الأسطوانة متجهاً إلى الأعلى بسبب فرق الكثافة الناتج عن اختلاف درجات الحرارة، ونتيجة لوجود جة بين جزئيات المائع فإن المائع الساخن 45 الصاعد سوف يحاول أن يسحب معه جزئيات المائع القريبة منه والتي تكون عادةً أبرد منه . كما يلاحظ تكون انحدار حراري عالي في المنطقة العلوية من الاسطوانة والذي يمكن ملاحظته بصورة واضحة من الشكل (6) حيث يلاحظ التدرج الطيفي ابتداءً من القاعدة ذات الضغط القليل إلى

$$a_p \phi_p = a_w \phi_w + a_E \phi_E + a_S \phi_S + a_N \phi_N + a_B \phi_B + a_T \phi_T + a_p^0 \phi_p^0 + S_u \quad \dots (11)$$

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

تم بناء النموذج والتوليد الشبكي الخاص بالاسطوانتين المتحديتين 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 الخلل فيه، علماً ان الملفات المساعدة لهذا البرنامج لا تحتوي على المعادلات التي يستخدمها لهذا الغرض.

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 [5] و افترضت الفرضيات الآتية لحل المسألة وهي:

1. الحمل الطبيعي في الحيز طباقى ومستقر. 46
2. إهمال حد التشنت (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:

المحوظ للتوصيل الحراري، ونتيجةً لذلك فإن معدل انتقال الحرارة في هذه المنطقة يكون بشكل كبير .

#### تأثير عدد رالي على التوزيع الحراري

يتضمن تعريف عدد رالي قوة الطفو التي تمثل المحرك الرئيسي لجريان المائع داخل الفجوة، وبذلك فإن زيادة عدد رالي تؤدي إلى زيادة تيارات الحمل المتكونة خلال الفجوة والتي تقوم بنقل المائع البارد الملاصق 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 .

الشكل (11) يبين العلاقة بين عدد رالي وعدد نسلت للحالة الانتقالية ، ونلاحظ ان العلاقة تكون عكسية والسبب في ذلك أن الوسط المسامي يكون بارد في البداية ويسرب اكبر قدر من الحرارة من سطح الاسطوانة الساخن ومع الزمن يبدأ بالتناقص إلى أن يستقر عند تشعب الوسط المسامي بالحرارة ، ويبقى فقط تأثير قوة الطفو على عملية انتقال الحرارة بالحمل الحر من الاسطوانة ونلاحظ عند الوصول إلى الحالة المستقرة انه بزيادة عدد رالي يزداد عدد نسلت الشكل (12) ، وبالتالي زيادة ملحوظة في انتقال الحرارة .

#### المعادلات الارتباطية للنتائج العملية

إن الغرض الأساسي من العمل التجريبي هو الحصول على معادلة تربط بين المتغيرات الداخلة في التحليل ولأقصى مديات الاختبار وذلك لتسهيل فهم سلوكية الظاهرة قيد الدراسة، يوصف انتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة حلقيّة متحدة المركز مائلة بزواوية (45°) بدلالة عدد نسلت ( $Nu$ ) الذي يكون

القمة ذات الضغط العالي مما يؤثر إلى تزايد الطاقة الحركية لجزيئات الهواء في الطرف العلوي بسبب ارتفاع درجة الحرارة .

وبما إن التعرف على طبيعة حركة المائع داخل الحيز المحصور توفر أرضية متينة لفهم طبيعة انتقال الحرارة في الأشكال المعقدة ، في الشكل (7) بيان لخطوط الجريان في حالة الاسطوانتين أفقيتين ، 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 للاسطوانة الخارجية لتكون حركة المائع داخل الحيز على شكل دوامات هلالية.

في الشكل (8) بيان لخطوط الجريان خلال الوسط المسامي عند وضع الاسطوانتين بصورة مائلة بزواوية (45°) حيث يمكن ملاحظة أنه جزيئات الهواء تقترب من سطح الاسطوانة الداخلية الخارجي حاملة معها الطاقة الحرارية القادمة من المسخن الكهربائي لتتحرك إلى الأعلى بصورة دوامات حلزونية إلى أن تصل إلى أعلى نقطة في النظام ومن ثم تنزل مع السطح الداخلي للاسطوانة الخارجية بصورة حلزونية أيضاً حيث تفقد الحرارة وتبرد أثناء نزولها إلى أن تصل إلى الأسفل وبذلك تكون حركة المائع داخل الحيز على شكل دوامات حلزونية .

ويختلف هذا التوزيع الحراري خلال الوسط المسامي عن التوزيع الحراري بين اسطوانتين تحصر هواء بينهما من دون وسط مسامي والمبينة في الشكل (9) للاسطوانتين المائلتين بزواوية (45°) والشكل (10) للاسطوانتين الأفقيتين ، والتي يلاحظ فيها تكون ما يسمى بريشة الطفو [7] ، كما يبدو ان خطوط ثبوت درجة الحرارة تكون بشكل مترافف وبتشوه اقل في حالة الوسط المسامي بسبب التأثير

مملوء بوسط مسامي مشبع، أطروحة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة تكريت، 2001.

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, 49, pp 4340-4351, 2006.

6. هرمز، جورج دانيال مطلوب، "تأثير الحاجز على انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي في وسط مسامي بين اسطوانتين أفقيتين متحدتي المركز - دراسة عددية". أطروحة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل، 2000.

بدوره دالة لعدد رالي ( $Ra$ )، ومن الواضح أن قيم عدد نسلت التي تم الحصول عليها من نتائج الدراسة التجريبية ربطت بالمعادلة الإرتباطية الآتية:

$$Nu = 2.31762 + 0.082352Ra - 0.00192(Ra)^2 + 1.57795E-005(Ra)^3 \dots\dots\dots(8)$$

حيث نلاحظ أن قيم عدد نسلت تزداد بزيادة عدد رالي ويمكن استخدام المعادلة أعلاه المستخلصة عملياً بنجاح في التنبؤ بالسلوك الحراري للجريان خلال فجوة حلقيّة محصورة بين اسطوانتين مائلتين بزواوية ( $45^\circ$ ) متحدتي المركز مملوءة بوسط مسامي بتأثير الحمل الحر وضمن أعداد رالي المحصورة بين 10-100، لاحظ الشكل (12).

#### الاستنتاجات والتوصيات

- من خلال النتائج المستحصلة نجد ما يلي:
1. إن رسم مجال درجات الحرارة يعطي طر 48 مهمة لفهم وملاحظة التوزيع الحراري في الحيز المحصور بين الاسطوانتين.
  2. يختلف التوزيع الحراري في الوسط المسامي عن غيرها بكونه أقل حدة في الانحدار الحراري.
  3. يعتمد التوزيع الحراري داخل الوسط المسامي بصورة كبيرة على عدد رالي.
  4. تعتمد حركة المائع داخل الحيز على زاوية ميل الاسطوانتين ، وعلى وجود الوسط المسامي .
  5. دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر بين اسطوانتين مائلتين غير متحدتي المركز مملوءتين بوسط مسامي.

#### المصادر

1. المتيوتي، عطا الله حسين جاسم، دراسة نظرية وعملية للحمل القسري الطباقى خلال أنبوب أفقي



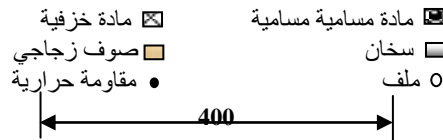
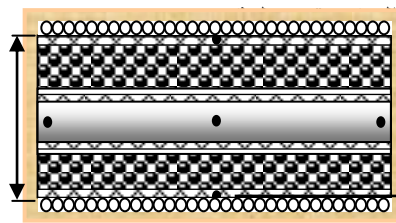
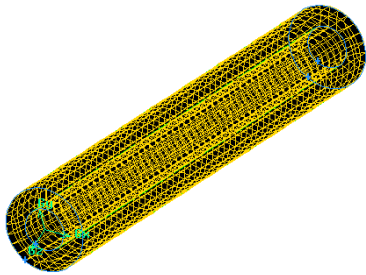
7. الجبوري، عمر خليل، "دراسة عملية ونظرية

لانتقال الحرارة بالحمل الحر الطبقي الانتقالي بين

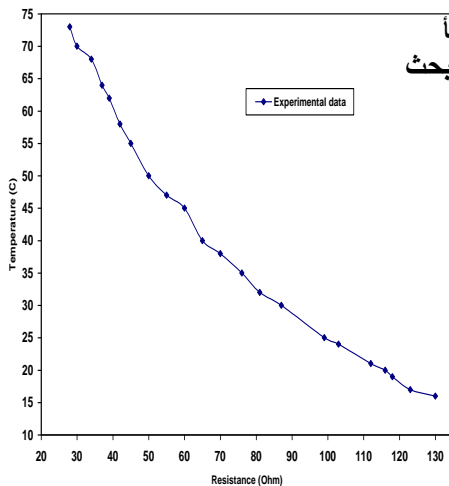
اسطوانتين أفقيتين غير متحديتي

جامعة تكريت للعلوم الهندسية

الأول، 2007..



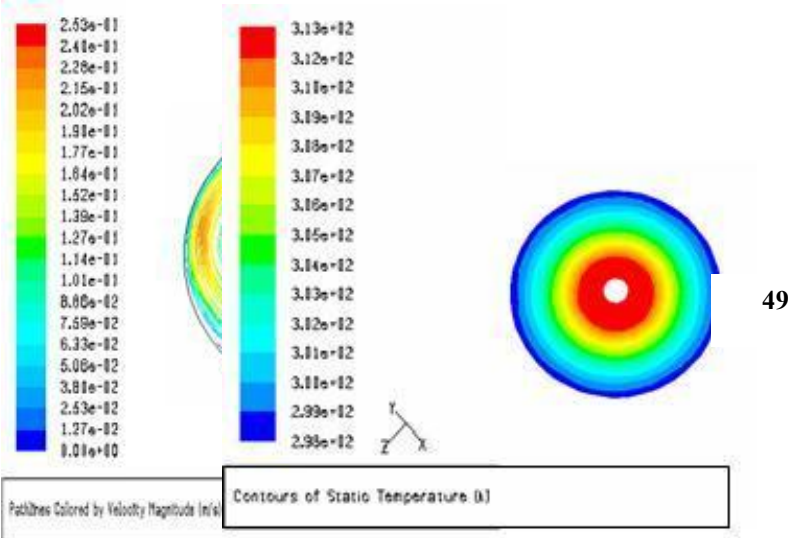
الشكل (1) الرسم التخطيطي للمنشأ التجريبي المستخدم في الاختبار في البحث الحالي



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

50

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



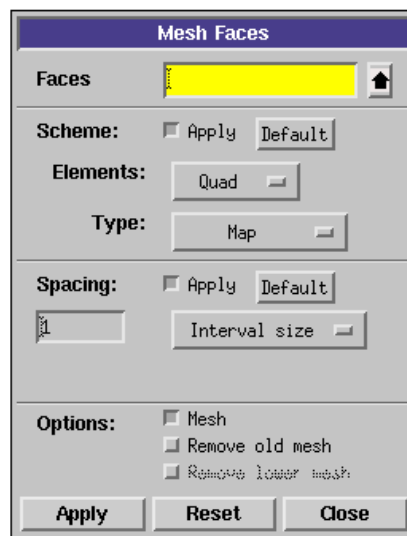
49

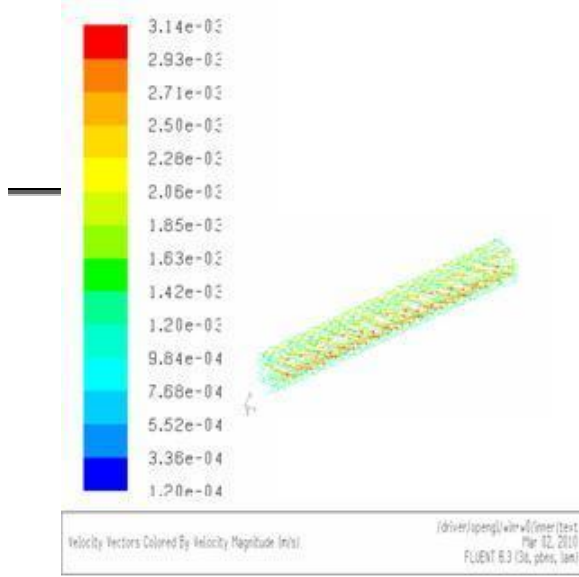
الشكل (3) التوليد الشبكي للحيز المحصور بين الاسطوانتين المملوء بوسط مسامي

الشكل (5) التوزيع الحراري للوسط المسامي المكون من الكريات الزجاجية

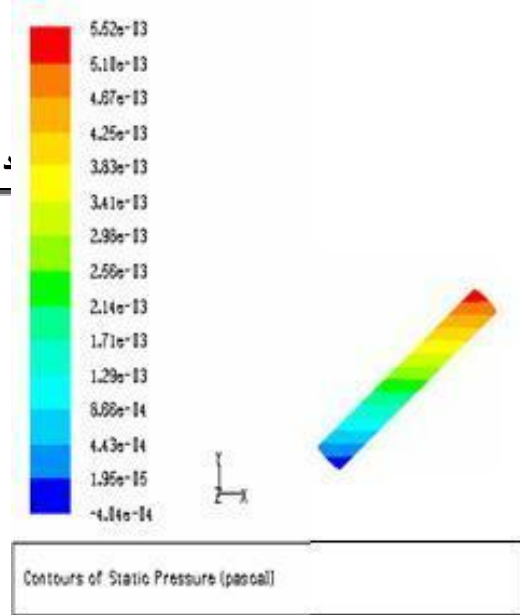
الشكل (6) التدرج الحراري بين الاسطوانتين المائلتين بوجود الوسط المسامي

الشكل (7) أنماط الجريان للوسط المسامي المكون من الكريات الزجاجية في الحالة الأفقية

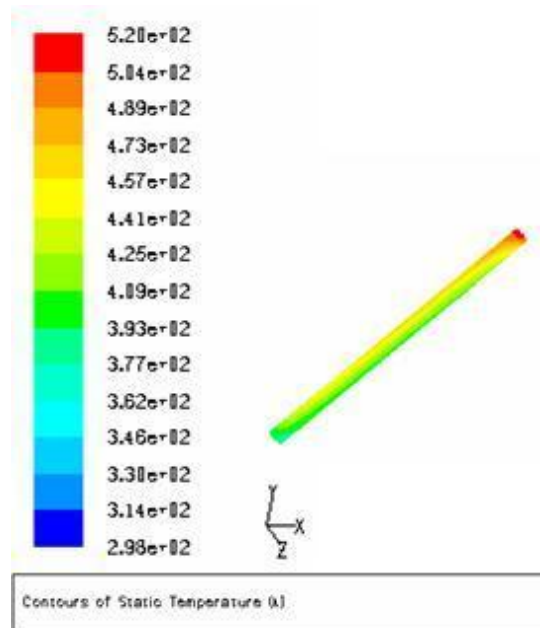
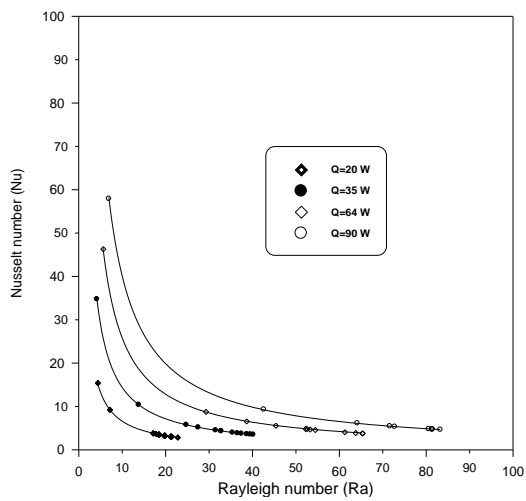




18

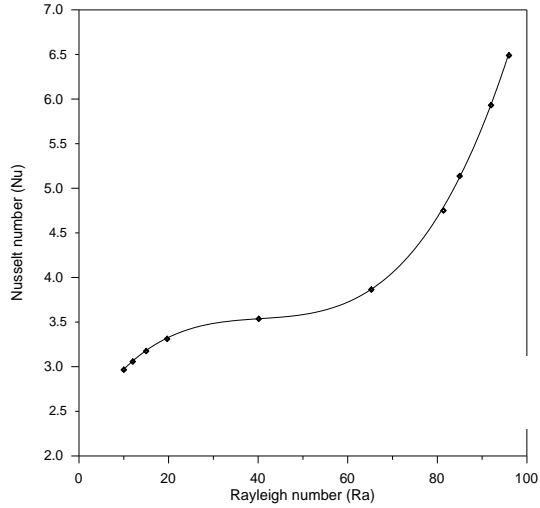


الشكل (8) أنماط الجريان للوسط المسامي المكون من الكريات الزجاجية في الحالة المائلة

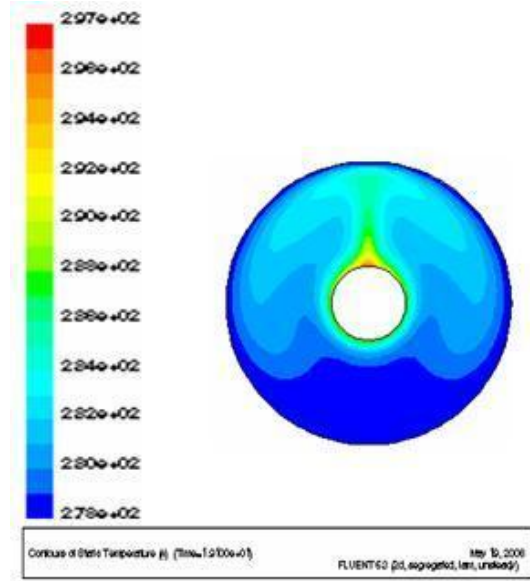


الشكل (9) التوزيع الحراري بين اسطوانتين مانلتين يحتويان على هواء فقط

للحالة الانتقالية لقيم مختلفة من الفيض الحراري



51



الشكل (10) التوزيع الحراري بين اسطوانتين أفقيتين يحتويان على هواء فقط

الشكل (12) تغير عدد نسلت (Nu) مع عدد رالي (Ra) للحالة المستقرة

الشكل (11) العلاقة بين عدد نسلت وعدد رالي