

دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة بالحمل الحر الطباقى الانتقالي بين اسطوانتين أفقيتين غير متحديتي المركز

د. عمر خليل احمد الجبوري

مدرس

الكلية التقنية - كركوك

الخلاصة

يتضمن البحث الحالي دراسة عملية ونظرية للحمل الحر الطباقى الانتقالي المتولد في حيز محصور بين اسطوانتين أفقيتين غير متحديتي المركز يحتوي على الهواء تحت شرط ثبوت درجة الحرارة للسطحين. أعتمد الحل الرياضي العددي على برنامج (Fluent) المعتمد على طريقة الحجم المحددة (Finite volume method)، بينما تم بناء منشأ تجريبي لاستقصاء تأثير اللامركزية والموقع الزاوي والزمن على عملية انتقال الحرارة بالحمل الحر الطباقى داخل الحيز المحصور. تم عرض النتائج على شكل مخططات كنتورية ومنحنيات تمثل خطوط الجريان والتوزيع الحراري داخل المائع.

بينت الدراسة إن قابلية نقل الحرارة بالحمل الحر من الاسطوانة الداخلية تقل مع مرور الزمن لحين الوصول إلى حالة الاستقرار وإن أفضل معدل لانتقال الحرارة يحدث للحالة التي تتضمن الموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$) مع نسبة اللامركزية (ε) مقدارها (0.726).

الكلمات الدالة

انتقال الحرارة، الحمل الحر الانتقالي، فجوة غير متحدة المركز.

قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدات
d	القطر الخارجي للأسطوانة الداخلية	m
D	القطر الداخلي للأسطوانة الخارجية	m
D _H	القطر الهيدروليكي	m
e	مقدار الإزاحة عن المركز	m
g	التعجيل الأرضي	m/s ²
h	معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر	W/m ² .°C
k	معامل التوصيل الحراري	W/m.°C
L	$\frac{D-d}{2}$	m
Nu	عدد نسلت	hD _H /k
Ra	عدد رالي	$\frac{g\beta D_H^3 (T - T_o) c_p \mu}{\nu^2 * k}$
T	درجة الحرارة	K

الرموز اليونانية

الرمز	المعنى	الوحدات
ε	نسبة اللامركزية = $\frac{e}{L}$	-
δ	الموقع الزاوي للأسطوانة الداخلية	Deg.
ϕ	الخاصية	-
β	معامل التمدد الحجمي	1/K
ρ	الكثافة الكتلية	Kg/m ³

الرموز التحتية

الرمز	المعنى	الوحدات
0	مرجعية	—

المقدمة

إن انتقال الحرارة داخل الفجوات المغلقة من المواضيع التي لها تطبيقات هندسية مختلفة خاصة في أنظمة الخزن الحراري وفي تصميم المفاعلات النووية وخطوط نقل الطاقة الكهربائية المدفونة تحت الأرض وغيرها. لقد اهتمت العديد من الدراسات النظرية والعملية بمسائل الحمل الحر في الحيز المحصور بين اسطوانتين متحديتي وغير متحديتي المركز. إن الحالة الانتقالية لانتقال الحرارة بالحمل الحر لمسألة الفجوة الحلقية الأفقية التي تحتوي هواء والتي إحدى تطبيقاتها حالة خطوط نقل الطاقة الكهربائية المدفونة تحت الأرض قد درست من قبل الباحثان (Tsui and Tremblay)^[1] نظريا بحل المعادلات الحاكمة عدديا، وتوصل الباحثان إلى إن أقصى زمن لازم للوصول إلى حالة الاستقرار يصل إلى اقل من (50sec) وحيث إن الزمن اللازم لرفع درجة حرارة خطوط النقل الكهربائي المدفونة تحت الأرض درجة مئوية واحدة يصل تقريبا إلى (7.5min) لذلك يمكن الاستعاضة بعدد نسلت للحالة المستقرة بدلا من عدد نسلت للحالة غير المستقرة للتطبيقات العملية. الباحثين (Farouk and Fusegi)^[2] درسا عملية انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي الثلاثي الأبعاد للحالة العابرة في فجوة حلقية أفقية تقع بين اسطوانتين متمركزتين المحور بافتراض إن المائع يخضع إلى افتراض بوسنسك (Boussinesq model) وإلغاء تأثير الإشعاع ولعرض نتائجهما رسم الباحثان منحنيات توزيع درجات الحرارة عند مواقع محورية مختلفة كما تم رسم منحنيات السرعة الزاوية عند قيم مختلفة لعدد رالي بالإضافة إلى مركبتي السرعة القطرية والمحورية. أجرى الباحثان (Vafai and Ettfagh)^[3] دراسة عددية لانتقال الحرارة الانتقالي الثلاثي الأبعاد عبر فجوة أفقية مغلقة تحتوي هواء موضحين تأثير النهايات على انتقال الحرارة وبمقارنة نتائجهما مع نتائج بحوث سابقة وجدا توافق جيد بينها. عرض الباحثان نتائجهما بشكل مخططات

كنتورية لدالة الجريان ودرجات الحرارة بالإضافة إلى منحنيات توضح تغير عدد نسلت مع الزمن. أنجز الباحث الجميلي^[4] باستخدام نفس الجهاز المستخدم في البحث الحالي دراسة نظرية وعملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر المستقر خلال فجوة بين اسطوانتين أفقيتين غير متحديتي المركز وشملت هذه الدراسة بيان تأثير كل من نسبة اللامركزية بين الاسطوانتين (ε) والموقع الزاوي للاسطوانة الداخلية (δ) وتوصل الباحث إلى إن قابلية الاسطوانة الداخلية المسخنة على تبديد الحرارة هي دالة لنسبة اللامركزية والموقع الزاوي للاسطوانة الداخلية بالإضافة إلى عدد رالي. من مراجعة البحوث السابقة نجد إن انتقال الحرارة بالحمل الحر المعتمد على الزمن بين أسطوانتين غير متحديتي المركز لم يأخذ الحيز الكافي، لذا سوف يتضمن هذا البحث دراسة عملية ونظرية لانتقال الحرارة المعتمد على الزمن لأسطوانتين غير متحديتي المركز واستقصاء تأثير اللامركزية والموقع الزاوي والزمن على عملية انتقال الحرارة بالحمل الحر الطبقي داخل الحيز المحصور بالإضافة إلى دراسة أنماط الجريان وطريقة تحرك الجزيئات داخل الفجوة المحصور بين الاسطوانتين.

الجانب العملي

تضمن الجانب العملي دراسة تأثير كل من مقدار اللامركزية والموقع الزاوي للاسطوانة الداخلية على انتقال الحرارة بالحمل الحر داخل الفراغ الحلقي المحصور بين اسطوانتين غير متحديتي المركز، استخدم نفس الجهاز المستخدم من قبل الجميلي^[4] والذي يتألف أساساً من اسطوانتين من الألمنيوم الأولى بقطر خارجي (26mm) والثانية بقطر داخلي (100mm) وكان طول الاسطوانتين (400mm). سخنت الاسطوانة الداخلية كهربائياً وتم تبريد الاسطوانة الخارجية، حيث تم غمرها بالماء والتلج داخل حوض معد لهذا الغرض، زودت الاسطوانة الداخلية (عنصر التسخين) بمنظومة لقياس درجة حرارة سطحها (T_i) مكونة بصورة أساسية من ستة مزدوجات حرارية نوع (k)، إذ تثبت أربعة منها على بعد (200mm) من احد طرفي الأسطوانة وزعت بالتساوي على محيطها بواقع مزدوج حراري كل (90°)، بينما تم تثبيت المزدوجين الباقيين على بعد (75cm) من طرفي الاسطوانة لقياس توزيع درجة

الحرارة على محيط وطول الاسطوانة على التوالي، كما تم قياس درجة حرارة سطح الاسطوانة الخارجية (عنصر التبريد) بزوج من المزدوجات الحرارية نوع (k). تم إجراء الاختبارات على عدد من المراحل للقدرة الكهربائية لتسخين الاسطوانة الداخلية، وتم تغيير نسبة اللامركزية (ε) والموقع الزاوي (δ) بالنسبة إلى الاسطوانة الخارجية مقاسة من الموقع الشاقولي كنقطة مرجعية كما في الشكل (1). جميع الاختبارات أجريت عند شرط ثبوت درجة الحرارة على سطحي الاسطوانة الداخلية و الاسطوانة الخارجية. ربطت المزدوجات الحرارية إلى وحدة بينية مبروطة إلى جهاز حاسوب كما في الشكل (2).

البرنامج Fluent

لدراسة وتحليل أنماط الجريان خلال الفجوة المحصورة بين الاسطوانتين المبينة في الشكل (1)، استخدم البرنامج الحاسوبي (Fluent) وهو أحد البرامج الرئيسية المعتمدة حالياً في العالم لتحليل الجريان في الأشكال المعقدة. تم بناء النموذج والتوليد الشبكي الخاص به بواسطة برنامج ملحق يسمى (Gambit) كما يلاحظ من الشكل (3). يوفر البرنامج (Fluent) مجموعة من الخيارات لحل مسائل الحمل الحر والتي تحتاج إلى معرفة دقيقة واستخدم في البحث الحالي 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 طباقي ومعتمد على الزمن.
- 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:

$$\rho \cong \rho_0 * (1 + \beta * (T_0 - T)) \quad \dots (1)$$

5. اختيار الخوارزمية (PISO) لربط معادلات الزخم والطاقة وهي ملائمة للحالات المعتمدة على الزمن.

6. اختيار الخوارزمية (Body Force Weighted scheme) لحل حد الضغط في معادلة الزخم.

يعتمد البرنامج (Fluent) على طريقة الحجم المحددة حيث يتم تحويل معادلات الانتقال التفاضلية التي تحكم ظاهرة الحمل الطبيعي والتي تمثل معادلات الاستمرارية (حفظ الكتلة) والزخم والطاقة إلى معادلات آنية بالشكل الآتي:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u\phi)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v\phi)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial\phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial\phi}{\partial y} \right) + S \dots\dots(2)$$

حيث ان ϕ أي خاصية مثل السرعة ودرجة الحرارة و L معامل الانتشار، تحول المعادلة أعلاه باستخدام طريقة الحجم المحددة إلى معادلات آنية يمكن بواسطتها إيجاد قيمة أي خاصية في النقطة (P) مركز الحجم المسيطر (الشكل 4)) بدلالة قيم الخاصية في النقاط المجاورة بالشكل الآتي:

$$a_P\phi_P = a_W\phi_W + a_E\phi_E + a_S\phi_S + a_N\phi_N + a_P^0\phi_P^0 + S_u \dots\dots\dots(3)$$

يتم تكامل كل معادلة من معادلات الاستمرارية والزخم والطاقة داخل كل حجم مسيطر وذلك بعد تقسيم الحيز المحصور بين الاسطوانتين إلى عدد من هذه الحجم كما في الشكل (3) وتوفر هذه الطريقة ضمان حفظ الزخم والطاقة داخل كل حجم وبالتالي تعتبر هذه الطريقة أكثر قبولاً من طريقة الفروق المحددة أو العناصر المحددة.

النتائج والمناقشة

1. النتائج العملية لتأثير موقع الاسطوانة على معدل انتقال الحرارة

إن تأثير موقع الاسطوانة على معدل انتقال الحرارة عمليا يمكن التعرف عليه عن طريق التعرف على سلوك معدل نسلت (Nu) مع عدد راييلي (Ra) لمواقع مختلفة، كما في الأشكال (5) إلى (9).

تظهر جميع الأشكال إن العلاقة بين عدد نسلت (Nu) وعدد رالي (Ra) علاقة عكسية حيث تؤدي زيادة عدد رالي المعتمد على الزمن إلى نقصان عدد نسلت (Nu) ويستمر هذا النقصان إلى إن يستقر عند قيمة معينة وتختلف هذه القيمة من حالة إلى أخرى ويرجع سبب نقصان عدد نسلت مع زيادة عدد رالي إلى الفرق الكبير بين درجتي حرارة الاسطوانتين الداخلية والخارجية عند بدء عملية التسخين والذي يسبب ارتفاع قيمة معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر (h) ومع استمرار عملية التسخين يبدأ هذا الفرق بالنقصان وبالتالي يقل معه عدد نسلت إلى إن يصل إلى حد الاستقرار. يبين الشكل (9) ان الحالة التي تتضمن الموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$) مع نسبة اللامركزية (ϵ) مقدارها (0.726) تعطي أعلى قيمة لعدد نسلت عند الاستقرار والبالغة (Nu=6.462) عند عدد رالي (Ra=73031.33)، تليه الحالة التي تتضمن الموقع الزاوي ($\delta=45^\circ$) مع نسبة اللامركزية (ϵ) مقدارها (0.47) والتي تعطي قيمة لعدد نسلت عند الاستقرار والبالغة (Nu=6.338) عند عدد رالي (Ra=67240).

2. أنماط الجريان

إن التعرف على شكل حركة المائع يوفر أحد الطرق لمعرفة التأثيرات الموقعية للامركزية وقوة الطفو. إذ يمكن ملاحظة ذلك من خلال رسم خطوط الجريان للمائع. ففي الجانب الأيسر من الأشكال (10) إلى (12) أخذت ثلاث حالات هي الحالة المركزية والحالتين التي حصل فيها أعلى معدل لانتقال الحرارة.

في الجانب الأيسر من الشكل (10) بيان لخطوط الجريان للحالة المركزية، حيث يمكن ملاحظة أنه عند بدء عملية التسخين فإن خلايا الحمل تأخذ شكل دوامات هلالية (الشكل 10-a)، مع تقدم الزمن واستمرار عملية التسخين فإن شكل الدوامات يتغير ليأخذ الشكل الكروي كما ينتقل مركز الدوامات إلى الأعلى (الشكل 10-b, 10-c, 10-d).

في الجانب الأيسر من الشكل (11) بيان لخطوط الجريان للحالة للموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$) مع نسبة اللامركزية (ε) مقدارها (0.726)، إذ نلاحظ أن خلايا الحمل تكون اكبر وأقوى بالمقارنة مع الحالة المركزية إذ تزداد أعلى قيمة لدالة الانسياب عند حالة الاستقرار (الحالة d في جميع الإشكال) من 1.14×10^{-3} للحالة المركزية إلى 2.29×10^{-3} لحالة الموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$)، كما يلاحظ عند المقارنة بين قيم دالة الانسياب للحالتين.

من الجانب الأيسر للشكل (12) الذي يصور خطوط الجريان للحالة ($\varepsilon=0.47, \delta=45^\circ$) يتضح أن هناك عدم تماثل في خلايا الجريان بخلاف الحالتين السابقتين حيث تكون خلية الجريان أقوى في الجزء الأوسع من الفجوة، وذلك بسبب تحرك المائع بدون إعاقة كبيرة في هذا الجزء بينما في الجزء الضيق من الفجوة تكون حركة المائع معاقة بشكل أكبر (الشكل 12-c, 12-d).

3. التوزيع الحراري

إن توزيع درجات الحرارة يعطي طريقة أخرى لملاحظة التأثيرات الموقعية للامركزية وقوة الطفو. الجانب الأيمن للأشكال (10) إلى (12) يبين تغير التوزيع الحراري حول الاسطوانة الداخلية مع الزمن.

التوزيع الحراري للحالة المركزية ($\varepsilon=0$) موضح بالشكل (10)، عند بدء عملية التسخين يكون انتقال الحرارة بالتوصيل فقط ولا يوجد تأثير لتيارات الحمل ويكون التوزيع الحراري على شكل دوائر متحدة المركز حول الاسطوانة الداخلية كما في الشكل (10-a). مع استمرار عملية التسخين تبدأ تيارات الحمل بالظهور، حيث يبدأ المائع القريب من أسفل الأسطوانة الداخلية بالتحرك على طول محيط الاسطوانة بسبب فرق الكثافة ناقلاً معه كمية من الطاقة إلى الأعلى (الشكل 10-b) مكونة ما يسمى ريشة الطفو ويمكن ملاحظة ذلك من خطوط ثبوت درجة الحرارة التي تتحرك بصورة متسارعة مع الزمن إلى الأعلى بعيداً عن سطح الاسطوانة الداخلية، ستمر تيارات الحمل بالارتفاع إلى الأعلى لتفصل إلى اتجاهين عند اصطدامها بالسطح الداخلي للأسطوانة الخارجية (الشكل 10-c)، ثم تجري بمحاذاة سطح الأسطوانة

الخارجية الداخلي نزولا إلى الأسفل لحين الوصول إلى حالة الاستقرار (الشكل 10-d)

الجانب الأيمن للشكل (11) وصف للتوزيع الحراري لحالة الموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$)، مع نسبة اللامركزية (ε) مقدارها (0.726) ، يكون التسلسل الزمني للتغير التوزيع الحراري مشابه إلى الحالة المركزية، حيث يكون انتقال الحرارة في البداية بالتوصيل فقط كمل في الشكل (11-a) ثم تبدأ تيارات الحمل بالظهور وتكوين ريشة الطفو والتي تمتد مع اتجاه تيارات الحمل كما في الشكلين (11-b,11-c) إلى إن تصل إلى مرحلة الاستقرار في الشكل (11-d)، ويمكن ملاحظة إن معظم الفجوة في الشكل (11-d) باللون الأزرق الفاتح والدال على ارتفاع معدلات الحرارة فيها وهذا يفسر ارتفاع عدد نسلت (Nu) لهذه الحالة.

وفي الجانب الأيمن من الشكل (12) توضيح للتوزيع الحراري لحالة الموقع الزاوي ($\delta=45^\circ$) مع نسبة اللامركزية (ε) مقدارها (0.47) ، يكون التسلسل الزمني للتغير التوزيع الحراري مشابه إلى الحالة المركزية، مع ملاحظة إن ريشة الطفو تكون أقل حجماً وغير متناظرة على جانبي الفجوة، بالإضافة إلى إنها تكون أطول وتميل نحو الجانب الواسع من الفجوة (الشكل 12-c) وسبب ذلك هو عدم وجود إعاقة لحركة المائع باتجاه الجزء الواسع من الفجوة.

الاستنتاجات والتوصيات

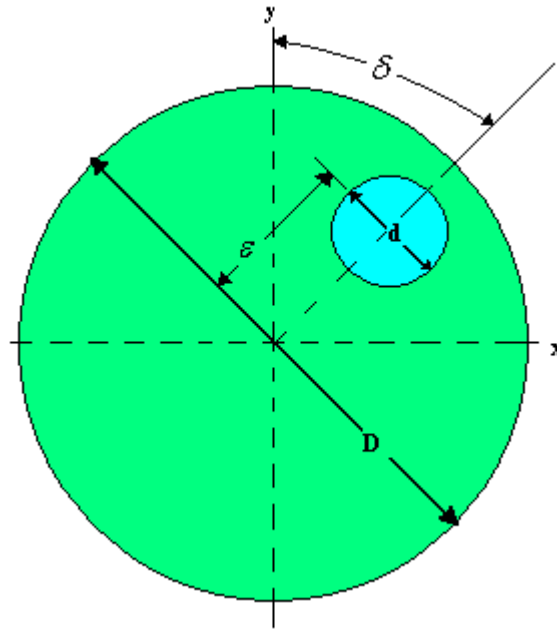
من خلال ما تقدم يمكن التوصل إلى ما يأتي:

- 1- إن معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر للحالة الانتقالية خلال الفجوة المحصورة الأفقية يقل بزيادة عدد رالي لحين الوصول إلى حالة الاستقرار.
- 2- إن معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر هو دالة لنسبة اللامركزية (ε) والموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$).
- 3- إن معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر للحالة الانتقالية خلال الفجوة يزداد عن الحالة المركزية في الحالة التي تتضمن للموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$) مع نسبة اللامركزية (ε) مقدارها (0.726) .

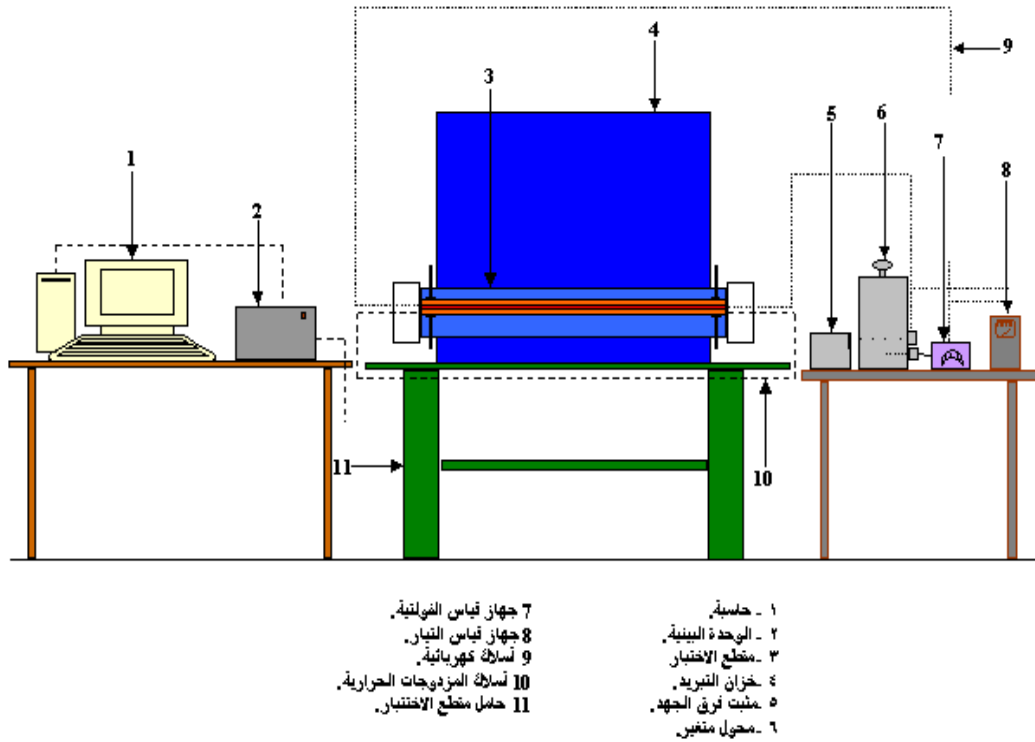
4- دراسة تأثير زاوية ميلان الاسطوانتين غير المتمركزتين على معدل انتقال الحرارة بالحمل الحر الانتقالي.

المصادر

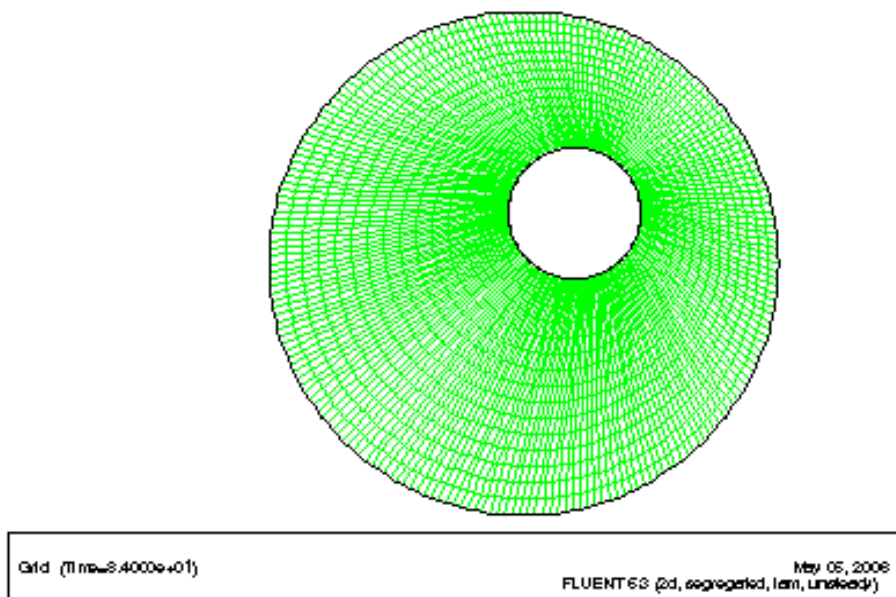
- 1- Tsui, Y. T. and Tremblay, B., "Transient Natural Convection Heat Transfer In The Annulus Between Concentric Horizontal Cylinder With Isothermal Surfaces", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 27, No. 1, pp. 103-111, 1984.
- 2- Fusegi, T. and Farouk, B., "A Three - Dimensional Study Of Natural Convection In The Annulus Between Horizontal Concentric Cylinders", Proceeding of the Eighth International Heat Transfer Conference, No. 4, pp. 1575-1580, 1986.
- 3- Vafai, K. and Etefagh J., "An Investigation Of Transient Three -Dimensional Buoyancy – Driven Flow And Heat Transfer In A Closed Horizontal Annulus", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 34, No. 10, pp. 2555-2570, 1991.
- 4- الجميلي، خلف إبراهيم حماده، "دراسة نظرية وعملية لانتقال الحرارة بالحمل الحر خلال فجوة بين اسطوانتين أفقيتين غير متحديتي المركز"، أطروحة ماجستير، جامعة تكريت 2005.
- 5- Fluent 5.3 document, 1998, Fluent Inc. From the help of program in the CD of Fluent.



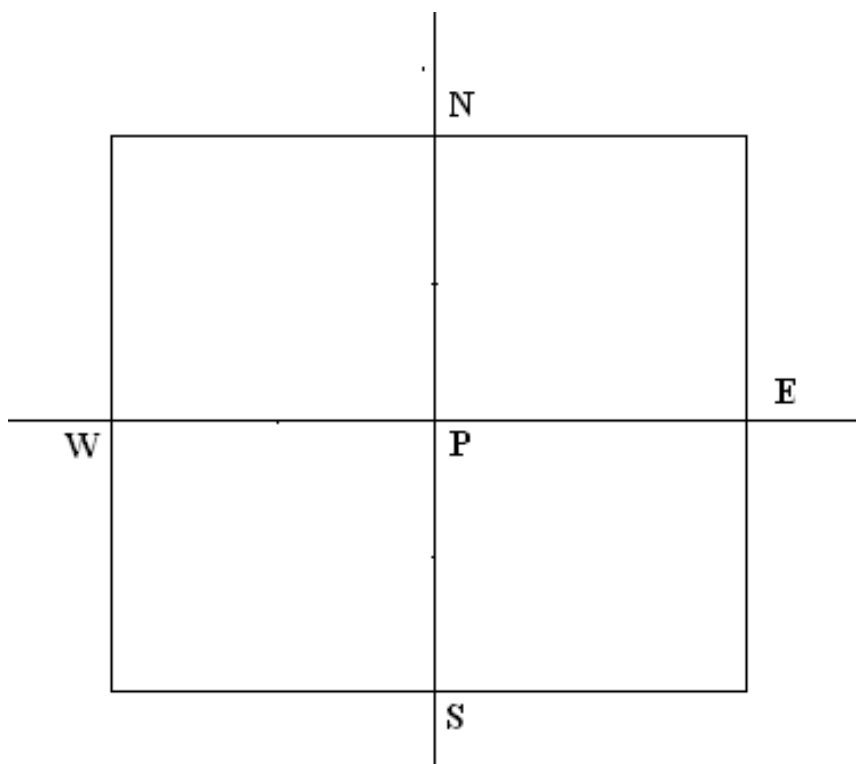
شكل (1) الشكل الهندسي للفجوة المحصورة بين الاسطوانتين غير متحديتي المركز



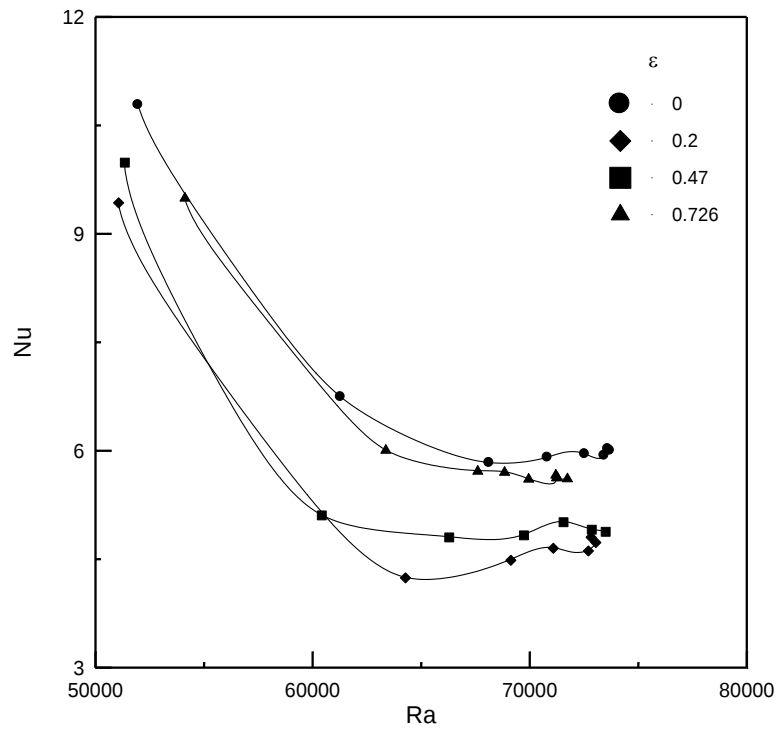
شكل (2) الشكل التخطيطي للجهاز المستخدم



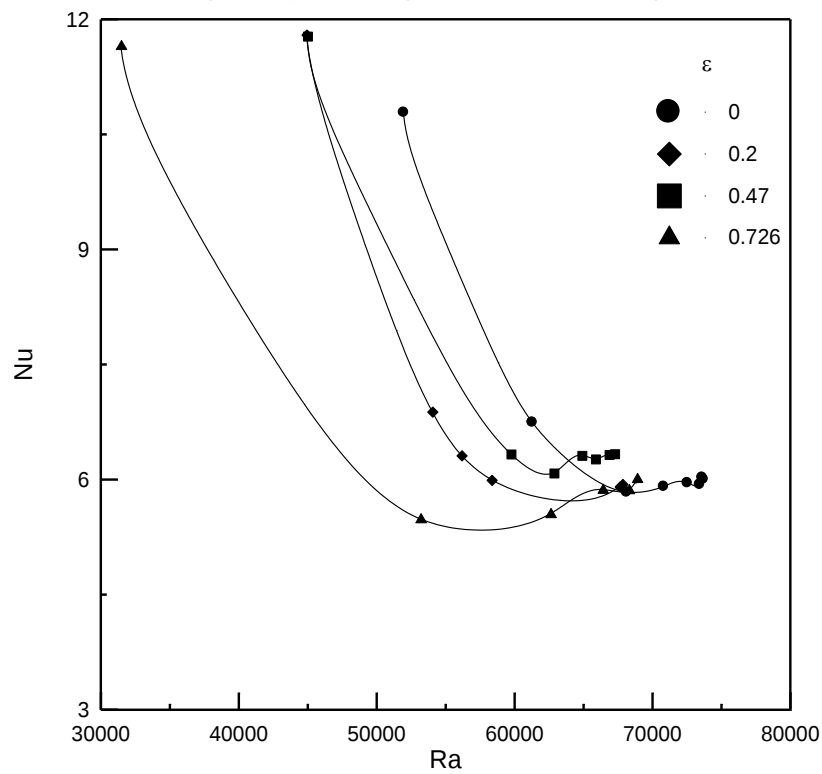
شكل (3) التوليد الشبكي للدوائر غير المتحدة المركز



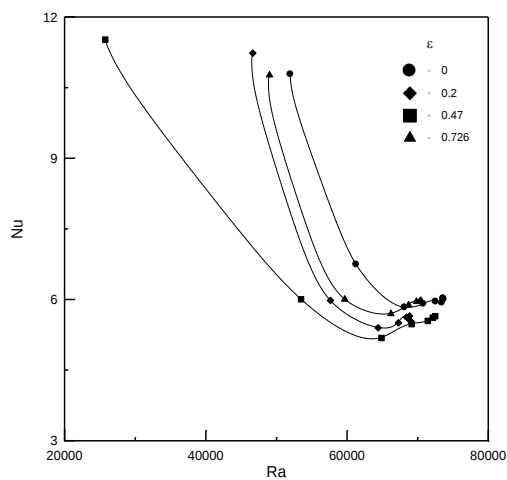
شكل (4) نموذج لحجم مسيطر داخل الحيز



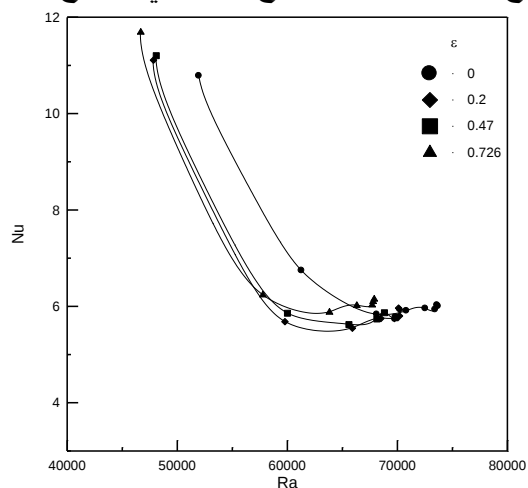
شكل (5) توزيع معدل عدد نسلت مع عدد رالي للموقع الزاوي ($\delta=0^\circ$)



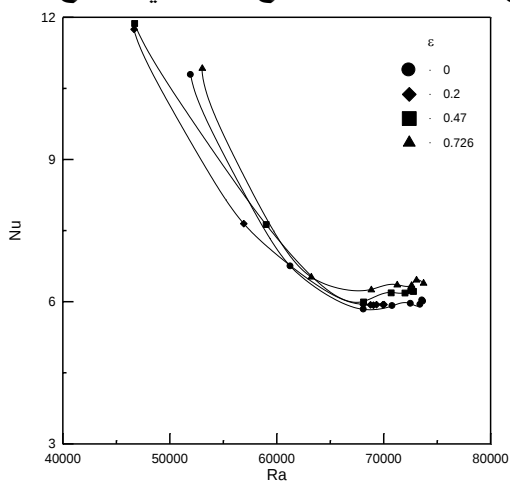
شكل (6) توزيع معدل عدد نسلت مع عدد رالي للموقع الزاوي ($\delta=45^\circ$)



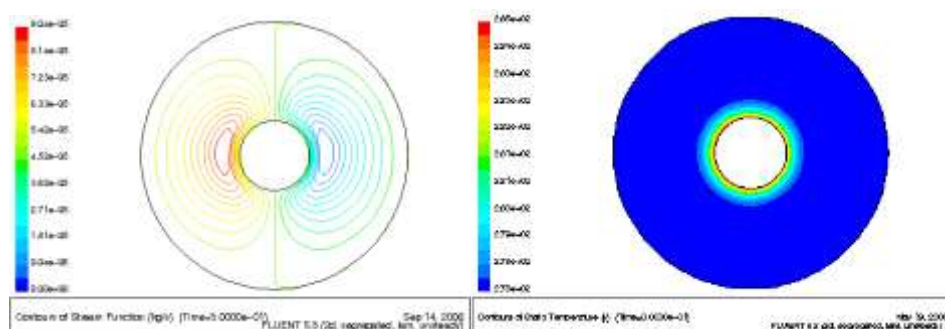
شكل (7) توزيع معدل عدد نسلت مع عدد رالي للموقع الزاوي ($\delta=90^\circ$)



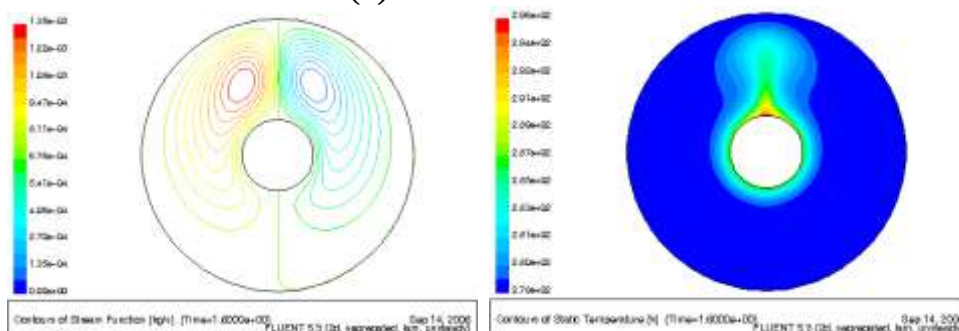
شكل (8) توزيع معدل عدد نسلت مع عدد رالي للموقع الزاوي ($\delta=135^\circ$)



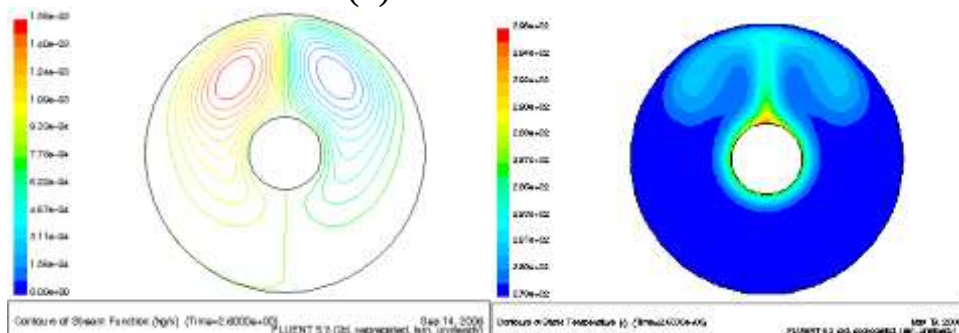
شكل (9) توزيع معدل عدد نسلت مع عدد رالي للموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$)



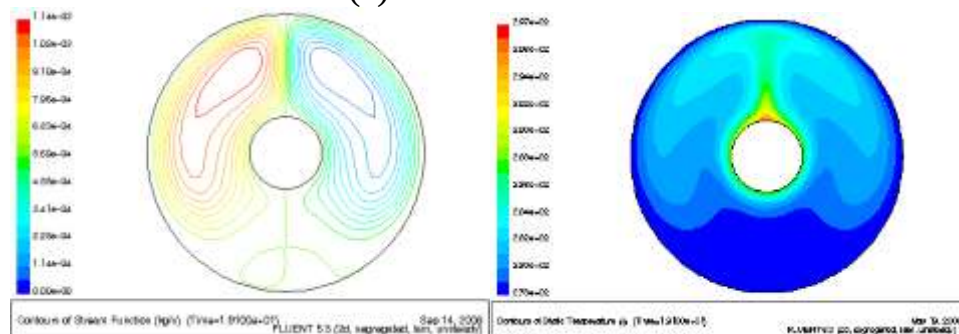
(a) Time= 0.3 sec



(b) Time= 1.6 sec

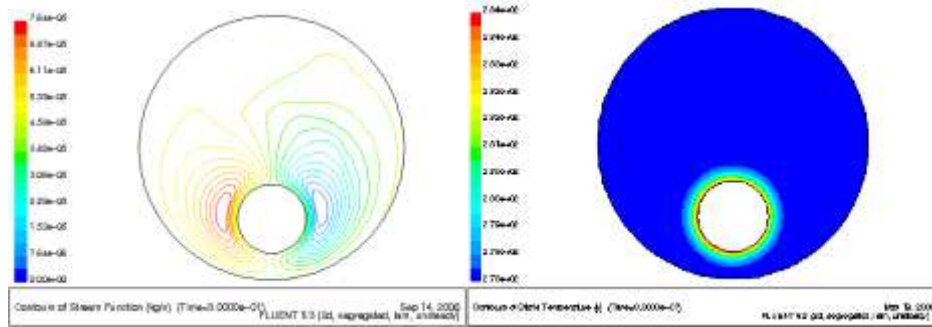


(c) Time= 2.6 sec

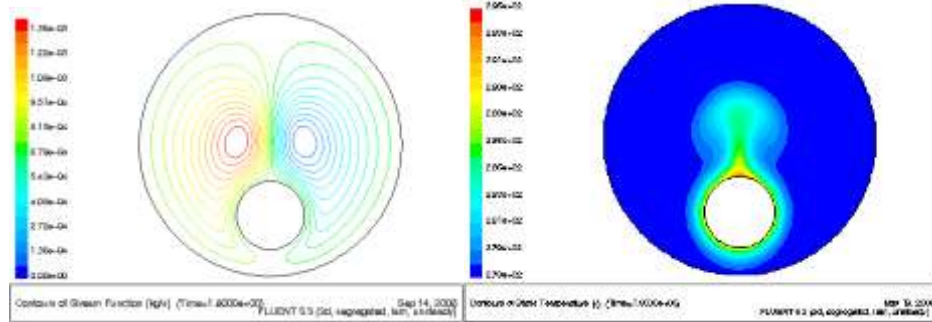


(d) Time= 19.1 sec

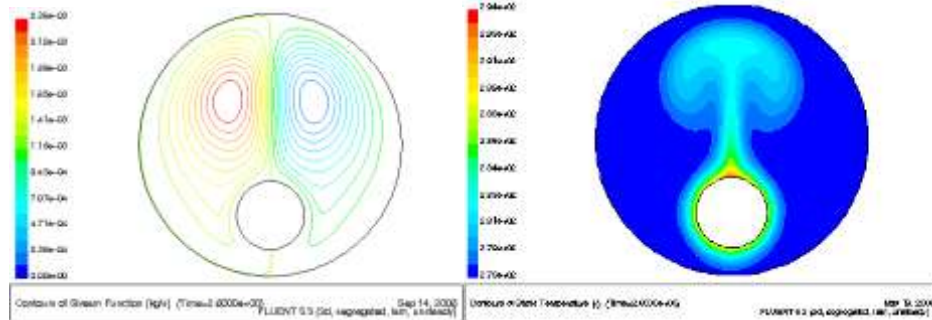
شكل (10) دالة الانسياب وتوزيع الحرارة للحالة المركزية



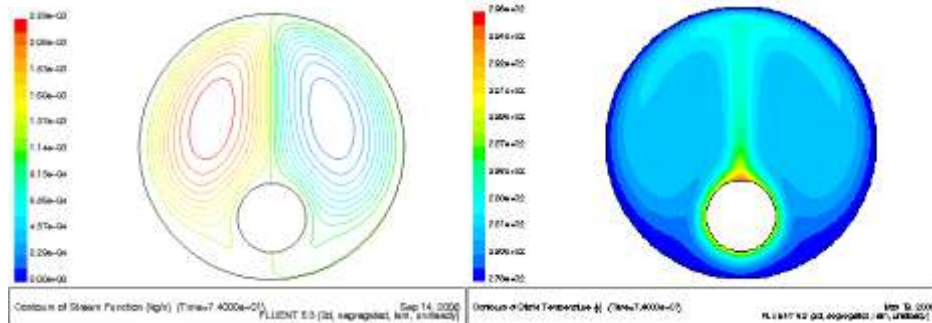
(a) Time= 0.3 sec



(b) Time= 1.8 sec

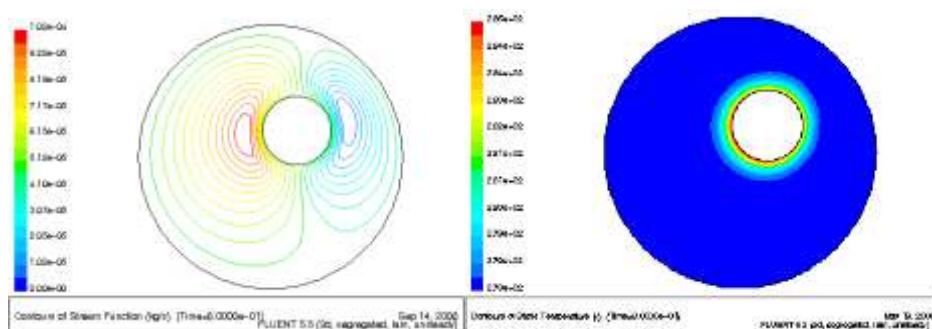


(c) Time= 2.6 sec

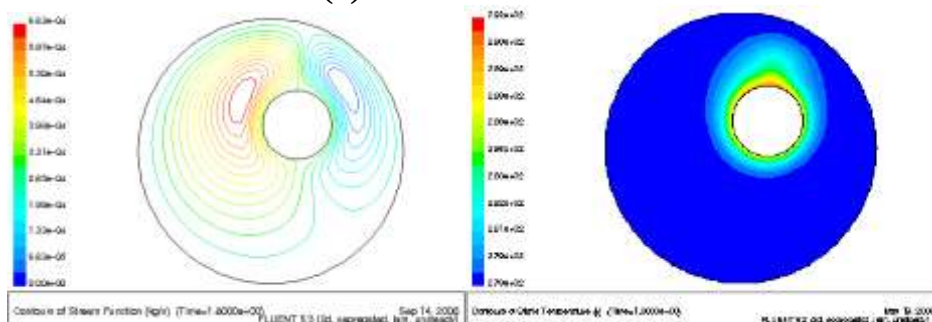


(d) Time= 74 sec

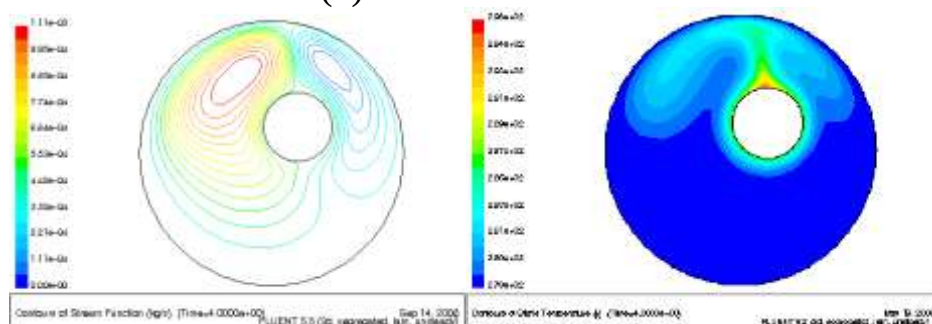
شكل (11) دالة الانسياب وتوزيع الحرارة للموقع الزاوي ($\delta=180^\circ$) مع نسبة اللامركزية (ε) مقدارها (0.726).



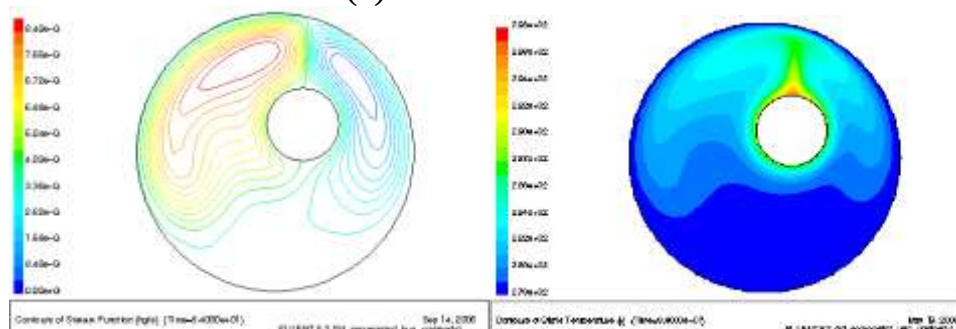
(a) Time= 0.6 sec



(b) Time= 1.8 sec



(c) Time= 4.0 sec



(d) Time= 84 sec

شكل (12) أنماط الجريان وتوزيع الحرارة للموقع الزاوي $(\delta=45^\circ)$ مع نسبة اللامركزية (ε) مقدارها (0.47).

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF UNSTEADY NATURAL CONVECTION HEAT TRANSFER THROUGH CAVITY BETWEEN ECCENTRIC HORIZONTAL CYLINDERS

Dr. Omer Khalil Ahmad

Lecturer

Technical College-Kirkuk

ABSTRACT

A theoretical and experimental study on the transient natural convection heat transfer across an eccentric horizontal annulus under the condition of constant surface temperature was carried out. The numerical study was carried out using the computational fluid dynamics code, Fluent, based on the method of control volume to study the natural convection phenomena in this enclosure. The experimental work included manufacturing an experimental setup to clarify the effect of eccentricity ratio, angular position, and time on the natural convection inside the enclosure. Results were presented in graphic forms of streamline and temperature distribution inside fluid. The study showed that the ability of the inner cylinder on transient convection heat transfer decreased as the transient Rayleigh number increased which is increase as time required to reach the steady state increase, perhaps this ability increase in the case that include

eccentricity ratio ($\epsilon=0.726$) in the angular position ($\delta=180^\circ$) where this ability will be higher than concentric state ($\epsilon=0$).

KEY WORD

Heat transfer, transient natural convection, eccentric cavity.