

دراسة عددية لانتقال الحرارة بالحمل الحر في فجوات ذات نهايات مفتوحة مملوءة بوسط مسامي معيق

م. علي لفته كعيد
الجامعة التكنولوجية
هندسة الموائع والمعدات

المستخلص

تم في البحث دراسة الحمل الحراري المساق بقوة الطفو داخل فجوة مفتوحة النهايات مع وسط مسامي. كذلك تم دراسة تأثير زيادة عدد راييلي على مجالي الجريان ودرجة الحرارة وتأثير الحدود الخارجية على توليد الدوامات وعدم الاستقرار في الجريان. كذلك تم مناقشة التصرف الدوري لأعداد نسلت مع الزمن. تأثير المتغيرات المهمة مثل النسبة الباعية، درجات الحرارة، عدد راييلي على مجال الجريان وعدد نسلت داخل الفجوة تمت دراستها أيضاً.

اظهرت النتائج العددية تأثير الحافات الخارجية للفجوات على مجال الجريان وعملية انتقال الحرارة من خلال توليد الدوامات وعدم استقرار الجريان بالقرب منها، بينما اظهرت نتائج الحالة الانتقالية عدم الاستقرار الحراري خلال الجريان داخل الفجوة وتحرك الدوامات داخل مجال الدراسة لحين الوصول الى الحافة العليا من مجال الدراسة، عدم الاستقرار اكدته النتائج عند عدد راييلي ($Ra \geq 250$) من خلال تولد الدوامات والتي لها تأثير مباشر على انتقال الحرارة داخل الفجوات. كذلك اظهرت النتائج انه بتقليل النسبة الباعية (A) يزداد الاستقرار في مجال الجريان، بينما تؤدي زيادة درجة حرارة السطح العلوي للفجوة (θ_0) الى زيادة انتقال الحرارة داخل الفجوة خاصة في الجزء العلوي منها.

الحمل الحر داخل الفجوات ذات النهايات المفتوحة التي تحوي مائع اعتيادي [٥-٧]. أما التي تحوي على وسط مسامي معين (Porous obstructing medium) فقد بقيت تحت طائلة البحث والاختبار. ولقد ركزت الدراسة الحالية على الحالة الثانية والتي هي أكثر تعقيداً. ان أهمية التدفق وانتقال الحرارة في الفجوات ذات النهايات المفتوحة يعود إلى الشكل الهندسي المعقد وكيفية التعامل مع الظروف المحيطة حيث تم الأخذ بنظر الاعتبار في هذه الدراسة ظروف الحدود المفتوحة في الحل العددي.

تم في هذا البحث دراسة التدفق بتأثير قوة الطفو وانتقال الحرارة في الفجوة ذي النهايات المفتوحة حيث تم تمثيل المشكلة ببُعدين من حيث التأثيرات المتنوعة المهمة مثل نسبة الشكل (النسبة الباعية)، المستويات المختلفة لدرجات الحرارة للسطوح وعددي راييلي ودارسي (Darcy-Rayleigh Number)، حيث تم التعبير عن النتائج بخطوط كنتورية لدالة الانسياب ودرجات الحرارة.

٢- التحليل النظري (Theoretical Analysis)

١- المقدمة Introduction

ان انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي ذو أهمية واسعة في العديد من الأنظمة الهندسية، ولقد تم دراسة التدفق أو الجريان داخل التجاويف ذات النهايات المفتوحة بسبب انتشار تطبيقاتها الهندسية [١-٤]. لقد تم وضع العديد من الدراسات التحليلية والعددية والعملية والتي تناولت دراسة الفجوات ذات الحدود المستطيلة، والتي أخذت بنظر الاعتبار أهمية تأثير عدد من العوامل مثل عددي دارسي ورايلي (Darcy-Rayleigh Number)، كذلك تأثير نسبة شكل الفجوة، لكن الدراسات التي تناولت الحث الحراري وحركته داخل الفجوات ذات النهايات المفتوحة هي دراسات قليلة.

ان التطبيقات الهندسية للفجوات ذات النهايات المفتوحة هي كثيرة ومهمة جداً ومنها انتشار النار في الغرف، أنظمة الاستقبال المركزية للطاقة الشمسية، أنابيب الربط بين الخزانات، وأخيراً مخازن الفضلات النووية. أكثر البحوث السابقة اهتمت بحركة

$$\sigma \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_e \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad \dots (2)$$

وبالاعتماد على العوامل اللابعدية الآتية:-

$$X = \frac{x}{d} ; \quad Y = \frac{y}{d}$$

$$u = \frac{\alpha_e}{d} \frac{\partial \psi}{\partial y} ; \quad v = -\frac{\alpha_e}{d} \frac{\partial \psi}{\partial x}$$

$$\theta = \frac{T - T_\infty}{T_1 - T_\infty} ; \quad \tau = \frac{\alpha_e}{\sigma d^2} t$$

$$Ra = \frac{kg\beta h \Delta T}{\alpha_e \nu} ; \Delta T = T_1 - T_\infty$$

يمكن تحويل معادلتَي الجريان والطاقة بالصيغ التالية:-

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial Y^2} = -Ra \frac{\partial \theta}{\partial X} \quad \dots (3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \frac{\partial \psi}{\partial Y} \frac{\partial \theta}{\partial X} - \frac{\partial \psi}{\partial X} \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \quad \dots (4)$$

ثم تمثيل المسألة بالظروف الحدية الموضحة بالشكل (٢) وكما يلي [11]:

$$\psi = 0 : \theta = 1 \quad \text{at} \quad Y = -\frac{A}{2}$$

$$\text{For} \quad -\frac{1}{2} \leq X \leq \frac{1}{2}$$

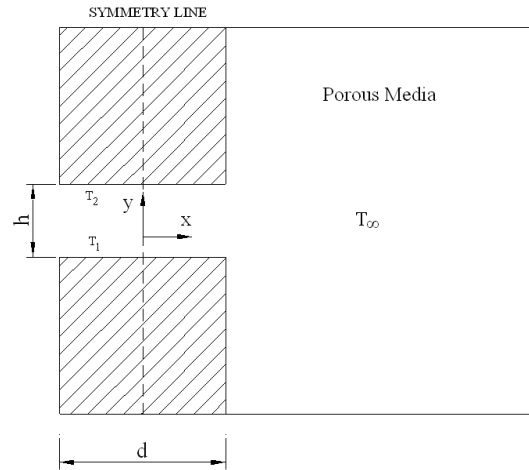
$$\psi = 0 : \theta = \theta_2 \quad \text{at} \quad Y = \frac{A}{2}$$

$$\text{For} \quad -\frac{1}{2} \leq X \leq \frac{1}{2}$$

$$\psi = 0 : \frac{\partial \theta}{\partial X} = 0 \quad \text{at} \quad X = \mp \frac{1}{2}$$

$$\text{as} \quad Y \rightarrow \mp \infty$$

شملت الدراسة الحالية التعامل مع حالة الحمل الطبيعي داخل تجويف ذي نهايات مفتوحة مغمور في وسط مسامي مشبع كما موضح في الشكل (١) حيث كان من الضروري وضع بعض الفرضيات من أجل الحصول على الصيغ النهائية للمعادلات الحاكمة (Governing equation) وبالتالي التوصل إلى نتائج الحل العددي، حيث تم خضوع المسألة لامتودج دارسي (Darcy Model) للجريان مع اهمال تأثير قوى القصور الذاتي (Inertial Forces) على طبيعة الجريان. كذلك تم خضوع كثافة مانع التشبع لتقريب بوسنيسك (Boussinesq approximation) مع اعتبار هذا المانع لا انضغاطي الا فيما يخص تدرج الكثافة التي سينتج عنها جريان المانع بقوة الطفو. كذلك تم فرض ان انتشار درجات الحرارة ودالة الانسياب ببعدين (Two-Dimensional)، وان الوسط المسامي المشبع متجانس (Homogeneous) وذات صفات ثابتة وموحدة ولكل الاتجاهات (Isotropic). كذلك تم اهمال تأثير الاشعاع واعتبار المانع المشبع المستخدم بطور واحد (Single phase) [٨-١٠].



شكل (١) مخطط للفجوة المفتوحة النهايات مع عائق من مادة مسامية

ان المعادلات الحاكمة التي تصف المشكلة الفيزيائية من حيث درجة الحرارة ومركبتي السرعة ودالة الانسياب واعتماداً على الفرضيات أعلاه والخاصة بالحصول على المعادلات الحاكمة لوصف حالة الحمل الطبيعي اللحظي (Transient Natural Convection) هي كما يلي [12,11]:

$$\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{kg\beta}{\nu} \frac{\partial T}{\partial x} \quad \dots (1)$$

(معادلة (٣)) والتي تعتبر معادلة قطع ناقص (معادلة Elliptic equation) وتسمى معادلة بوسين (Poisson equation) باستخدام طريقة الارخاء (Relaxation Scheme) [13] حيث كانت قيمة معامل الارخاء تساوي واحد. أما بالنسبة لحل معادلة الطاقة (معادلة (٤)) بصيغتها الغير مستقرة يضاف حد الزمن (Time Term) والذي يمثل معياراً للاستقرار. إذ يجري التعامل مع معادلة الطاقة بصيغتها غير المستقرة على انها معادلة قطع مكافئ (Parabolic Equation) وهذا مما يجعل امكانية استخدام الطريقة الواضحة أو الصريحة (Explicit scheme) سهلاً للغاية حيث يتم حساب قيمة درجة الحرارة اللابعدية لأي عقدة عند الزمن $(\tau + \Delta\tau)$ اعتماداً على قيمة درجة الحرارة اللابعدية للعقدة ذاتها والعقد المجاورة عند الزمن (τ) . إذ يدخل الزمن عاملاً مؤثراً ويعتبر بعداً ثالثاً ويتم الانتقال بين الخطوتين اللاحقتين وفقاً لتغير قيمته [14].

يستمر تكرار عملية الانتقال بين قيم درجات الحرارة خطوة بخطوة حسب قيمة عامل الارتحال (Marching factor) حتى يتم الحصول على شرط التقارب (Convergence) لهذا التكرار وذلك عندما يصبح الفرق بين القيمتين $(\theta\tau)$ و $(\theta\tau + \Delta\tau)$ مقداراً صغيراً تم تحديده في البرنامج بقيمة (10^{-6}) .

٤- النتائج والمناقشة Results and Discussion

كما تم ذكره سابقاً تم تمثيل النتائج بخطوط
 كنتورية لدالة الانسياب ودرجات الحرارة ولأعداد
 رايلي (Ra=20,50,100,200,250,350) ولنسبة
 باعية ($A = \frac{1}{2}$) حيث تمثل (A) نسبة ارتفاع الفجوة

إلى العرض حيث عند أخذ القيمة $(A = \frac{1}{2})$ يكون لدينا فجوة مربعة الشكل. درجة حرارة السطح السفلي للفجوة $(\theta_1 = 1)$ وكذلك الحال للسطح العلوي حيث تم أخذ قيمته $(\theta_2 = 1)$.

نلاحظ من الشكل (٣) تأثير زيادة عدد رايلي على توزيع دالة الانسياب ودرجات الحرارة داخل الفجوة بالظروف المبينة في أعلاه.

حيث عند قيم رايلي القليلة ($R=20$) كما هو موضح في الشكل (3-a) نلاحظ ان ميكانيكية انتقال الحرارة داخل الفجوة هو التوصيل، مع هذا فان طور الحمل يكون كافى لعمل تشوه في خطوط الانسياب ودرجات الحرارة داخل الفجوة. مجال الجريان كما هو مبين يكون تقريباً متماثل حول الخط العرضي المار في وسط الفجوة حيث ان المانع الساخن يخرج من الفجوة

$$V=0:\frac{\partial\theta}{\partial X}=0 \quad \text{as} \quad X\rightarrow\mp\infty$$

For all Y .

$$\frac{\partial U}{\partial Y} = 0; \frac{\partial \theta}{\partial Y} = 0 \quad \text{as} \quad Y \rightarrow \mp \infty$$

For all X .

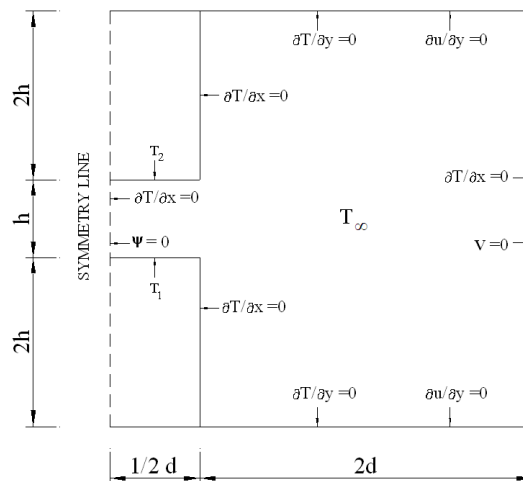
أما القيم الابتدائية فهي :-

$$\psi = \theta = 0.0$$

تم حساب قيمة عدد نسلت الموضعي للسطح العلوي والسفلي للتجفيف باستخدام المعادلة التالية [٦] :-

$$Nu = - \int_0^1 \frac{\partial \theta}{\partial Y} \bigg|_{Y=-A/2} dX + \frac{1}{\theta_2} \int_0^1 \frac{\partial \theta}{\partial Y} \bigg|_{Y=A/2} dX \quad \dots (5)$$

وبعد ذلك تم حساب معدل نسلت باستخدام سلسلة سمبسون.



شكل (٢) مخطط الشكل الهندسي للفجوة مع الشروط الحدية المستخدمة في الدراسة

٣- الحل العددي Numerical Solution

سيتم من خلال هذه الفقرة وصف مبسط لطرق الحل العددي المستخدمة عند حل معادلة الزخم والطاقة اللابعيين. حيث استخدمت طريقة الفروق المحددة (Finite differences) المعتمدة على متسلسلة تايلر (Taylor series) في تحويل المعادلات من صيغتها التفاضلية المعقدة إلى معادلات خطية بسيطة، بعد ذلك تم حل معادلة الزخم

نتيجة لقوة الطفو ويكون أسرع من المانع الموجود داخل الفجوة، ويتم بعد ذلك سحب مانع بارد من خلال السطح الأسفل للفجوة حيث تكون هذه العملية هي المسؤولة عن استقامة خطوط جريان المانع على السطح السفلي. وبالإضافة إلى هذا فإن المانع الذي يتم سحبه إلى داخل الفجوة ترتفع درجة حرارته بسبب سخونة الجدار السفلي للفجوة لذلك فإن هناك قوتان تؤثران على جرى المانع خلال الوقت وهي قوة الطفو وقوة السحب أو المص الأفقية.

بزيادة عدد راييلي ($Ra = 20-100$) فإن المانع البارد يخترق أكثر داخل الفجوة وتكون خطوط دالة الانسياب ودرجات الحرارة أقرب من بعضها البعض. وبسبب تدرج درجات الحرارة فإن انتقال الحرارة من السطح السفلي يزداد كذلك فإن انتقال الحرارة من السطح العلوي (والذي يكون بالتوصيل) يزداد. لكن المانع الداخل إلى الفجوة أسرع من الخارج منها لذلك فإن المانع لا يبقى متماثلاً بزيادة عدد راييلي.

بزيادة عدد راييلي من (١٠٠) إلى ($Ra = 350$) فإن المانع الداخل (المانع البارد) سيخترق الفجوة أكثر وتكون خطوط الانسياب ودرجات الحرارة أقرب والمانع الداخل إلى داخل الفجوة يكون أسرع لذلك فإن الطبقة المتاخمة الحرارية تصبح أرق وأقرب إلى الجدار، كذلك فإن خطوط درجات الحرارة على السطح العلوي تصبح أكثر وأقرب مما يؤدي إلى طبقة متاخمة أرق على طول الجدار العمودي العلوي.

الشكل (٤) يمثل تأثير زيادة درجة حرارة سطح الفجوة العلوي (θ_2) على خواص انتقال الحرارة داخل الفجوة المفتوحة.

تم الاستعانة بالشكل (3-c) لتمثيل الحالة عند

($\theta_2 = 1$) بالإضافة إلى الحالتين ($\theta_2 = \frac{1}{2}, 2$) حيث

نلاحظ من خلال المقارنة بين الحالة ($\theta_2 = 1$)

والحالة ($\theta_2 = \frac{1}{2}$) نلاحظ انه بزيادة درجة حرارة

المانع الداخل إلى الفجوة في حالة ($\theta_2 = \frac{1}{2}$) بحيث

تصل إلى مستوى أعلى من درجة حرارة السطح العلوي (بتأثير درجة حرارة السطح السفلي) فإن انتقال الحرارة سيكون عكسي أي يتم من المانع إلى الجدار. لكن في حالة ($\theta_2 = 1$) فإن انتقال الحرارة يتم من الجدار إلى المانع بسبب كون درجة حرارة جزيئات المانع في أي مكان هي أقل من درجة حرارة السطح العلوي للفجوة.

بزيادة درجة حرارة السطح العلوي ($\theta_2 = 2$) فإن التأثيرات العامة والتي سبق شرحها تبقى سارية المفعول في هذه الحالة ما عدا كون أن الطبقة المتاخمة الحرارية تكون أسمك قرب الجدار العلوي.

أما الشكل (٥) فيمثل دراسة تأثير تغيير النسبة الباعية (A) على مجال الجريان ودرجة الحرارة. حيث تم أخذ القيم ($A = \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, 1$) بثبوت

درجة حرارة السطحين العلوي والسفلي عند القيم ($\theta_1 = \theta_2 = 1$) ولعدد راييلي ($Ra = 100$) نلاحظ ان بزيادة النسبة الباعية فإن المانع البارد سيخترق أكثر داخل الفجوة المفتوحة مما يؤدي إلى عدم استقرارية الجريان داخل الفجوة.

الشكلين (٦) و(٧) يمثلان تطور الجريان خلال الزمن داخل الفجوة المفتوحة حيث نلاحظ تأثير الحافات الخارجية على توليد الدوامات، حيث يتقدم الزمن فإن الدوامات المركزية المتولدة داخل الفجوة تتقدم نحو الأعلى حيث نلاحظ من مخططات درجات الحرارة عدم الاستقرار الموجود داخل الفجوة. حيث بسبب تأثير قوتي الطفو والمص الأفقية تتولد دوامات صغيرة تتقدم خلال الزمن من الأسفل إلى الأعلى خلال خط التماثل داخل الفجوة ولحين الوصول إلى حالة الاستقرار حيث تختفي هذه الدوامات.

الشكل (٨) يمثل التغير الزمني لمتوسط نسلت ولأعداد مختلفة من (Ra)، حيث نلاحظ ان الانحدار الموجود عند السطح العلوي والسفلي للفجوة يكون مسؤول عن القيم المتغيرة لانتقال الحرارة خاصة لقيم راييلي ($Ra > 250$). حيث نلاحظ ان أعداد نسلت تتردد خلال الزمن مع اضمحلال قيمها، وسبب تردد هذه القيم هو عدم الاستقرار الموجود في انتقال الحرارة والمتكون في المراحل المتقدمة من الجريان حيث بزيادة الزمن فإن قيم أعداد نسلت تصل إلى قيمها المستقرة. بزيادة عدد راييلي فإن الزمن اللازم لعملية تسخين جزيئات المانع على طول السطح الأسفل للفجوة يقل، وبتقليل قيمة (Ra) فإن تردد أو تغيير قيم (Nu) سوف يقل.

الشكل (٩) يمثل تأثير زيادة درجة حرارة السطح العلوي للفجوة وزيادة النسبة الباعية على انتقال الحرارة (على عدد نسلت) حيث نلاحظ من الشكل (9a) انه بزيادة درجة الحرارة (θ) فإن ذلك يؤدي إلى زيادة عملية انتقال الحرارة. وكذلك يؤدي إلى التقليل من التردد الحاصل في درجات الحرارة وبالتالي التقليل في عدم الاستقرار في مجال الجريان. كذلك من خلال الشكل (9b) نجد بأن التقليل في النسبة

٤- عدم الاستقرار في الجريان يظهر عند عدد راييلي $(Ra \geq 250)$ من خلال تكون الدوامات والتي تكون غير ثابتة خلاله.

٥- تقليل النسبة الباعية يؤدي الى تقليل عدم الاستقرار في الجريان بينما زيادة درجة حرارة السطح العلوي تؤدي الى تحسين انتقال الحرارة من السطحين العلوي والسفلي داخل الفجوة.

الباعية يؤدي إلى تحسين انتقال الحرارة من خلال التقليل من عدم الاستقرار الموجود في مجال الجريان داخل الفجوة المفتوحة.

الشكل (١٠) يوضح مقارنة نتائج البحث الحالي لقيم دالة الانسياب ودرجات الحرارة مع المصدر [15] حيث نلاحظ التقارب الموجود بين النتائج .

Numerical Study of Natural Convection in an Open- Ended Cavity Filled with Porous Media

Abstract

The buoyancy-driven convection in an open-ended cavity with an obstructing medium such as a porous material is analyzed in this work. The effect of increasing Rayleigh number on flow field and temperature also the importance of the external corners in vorticity generation and flow instability is discussed. The periodic behavior in the variation of the Nusselt Number with time is studied. The effects of important variables, such as the aspect Ratio, the temperature difference, and Rayleigh number on the flow field and the cavity Nusselt number are investigated.

The numerical results show the influence of external corners in an open-ended cavity as vorticity generation and flow instabilities near the corners. The transient results show the thermal instabilities in the flow field also the vorticity is fed into the upper plane of the domain, the unsteadiness appears for $(Ra \geq 250)$ as vorticity generation which has direct influence on heat transfer in the cavity. The result shows that decreasing the aspect ratio (A) stabilize the flow field while increasing the temperature of the upper surface (θ_2) enhance the heat transfer in the cavity spatially from the upper surface.

٥- الاستنتاجات Conclusion

- ١- اظهرت النتائج ان مجال الجريان داخل الفجوة المفتوحة لا يعتمد على الشروط الحدية على اعتبار ان الجدران بعيدة نسبيا عن الفجوة.
- ٢- تأثير الحافات الخارجية للفجوة ظهر بتوليد الدوامات وعدم استقرار الجريان بالقرب من تلك الحافات.
- ٣- الحل الانتقالي اظهر ان عدم الاستقرار الحراري يظهر من السطح الاسفل للفجوة ويختفي بمرور الوقت بدخول الجريان داخل الفجوة.

قائمة الرموز Nomenclature

النسبة الباعية (h/d)	(A) [-]
الامتداد الأفقي للفجوة المفتوحة	(d) [m]
التعجيل الأرضي	$[ms^{-2}]$ (g)
الامتداد العمودي للفجوة المفتوحة	(h) [m]
عدد نسلت	Nu [-]
متوسط عدد نسلت	$\bar{Nu}$ [-]

- [5] Khanafer, K. K. Vafai, "Effective Boundary Conditions for Buoyancy – Driven Flows and Heat Transfer in Fully Open – Ended Two-Dimensional Enclosures". International Journal of Heat and Mass Transfer (45), pp. (2527-2538), (2002).
- [6] Khanafer, K. K. Vafai, Lightstone. M. "Mixed Convection Heat Transfer in Two-Dimensional Open-Ended Enclosures". International Journal of Heat and Mass Transfer (45), pp. (5171-5190), (2002).
- [7] L Chan Y. and L. Tien, C. "Laminar Natural Convection in Shallow Open Cavities", 21st ASME –AICHE National Heat Transfer Conference Natural Convection in Enclosures. Vol.(26), pp. (77-82), (1983).
- [8] Joseph, D. D., "Stability of Fluid Motions II". Springer – Verlag Berlin, (1976).
- [9] Ingham, D. B., and Pop, I., "Natural Convection about a Heated Horizontal Cylinder in a Porous Medium". Journal of fluid Mechanics, vol. (184), pp.(157-181), (1987).
- [10] Faronk, B., and Shayer, M., "Natural Convection around a Heated Cylinder in a Saturated Porous Medium". Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer, Vol. (110), pp.(642-648), August, (1988).
- [11] Vafai, K. Etefagh, J. "The Effects of Sharp Corners on Buoyancy- Driven Flows with Particular Emphasis on Outer Boundaries", International Journal of Heat and Mass Transfer (33), pp. (2311-2328), (1990).
- [12] Vafai, K. Etefagh, J. "Thermal and Fluid Flow Instabilities in Buoyancy- Driven Flows in Open- Ended Cavities", International Journal of Heat and Mass Transfer (33), pp. (2329-2344), (1990).
- [13] McDonough, J.M., "Lectures on Computational Numerical Analysis of Partial Differential Equations". Department of Mechanical Engineering and Mathematics, University of Kentucky, (2002).
- [14] Collella, P., and Puckett, E.G., "Modern Numerical Methods for Fluid Flow". Department of Mechanical Engineering. University of California, Berkeley, (1994).
- [15] Faronk, B., and Shayer, M., "Natural Convection in open –ended cavities with a porous obstructing medium". Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer, Vol. (31), pp.(673-693), August, (1988).

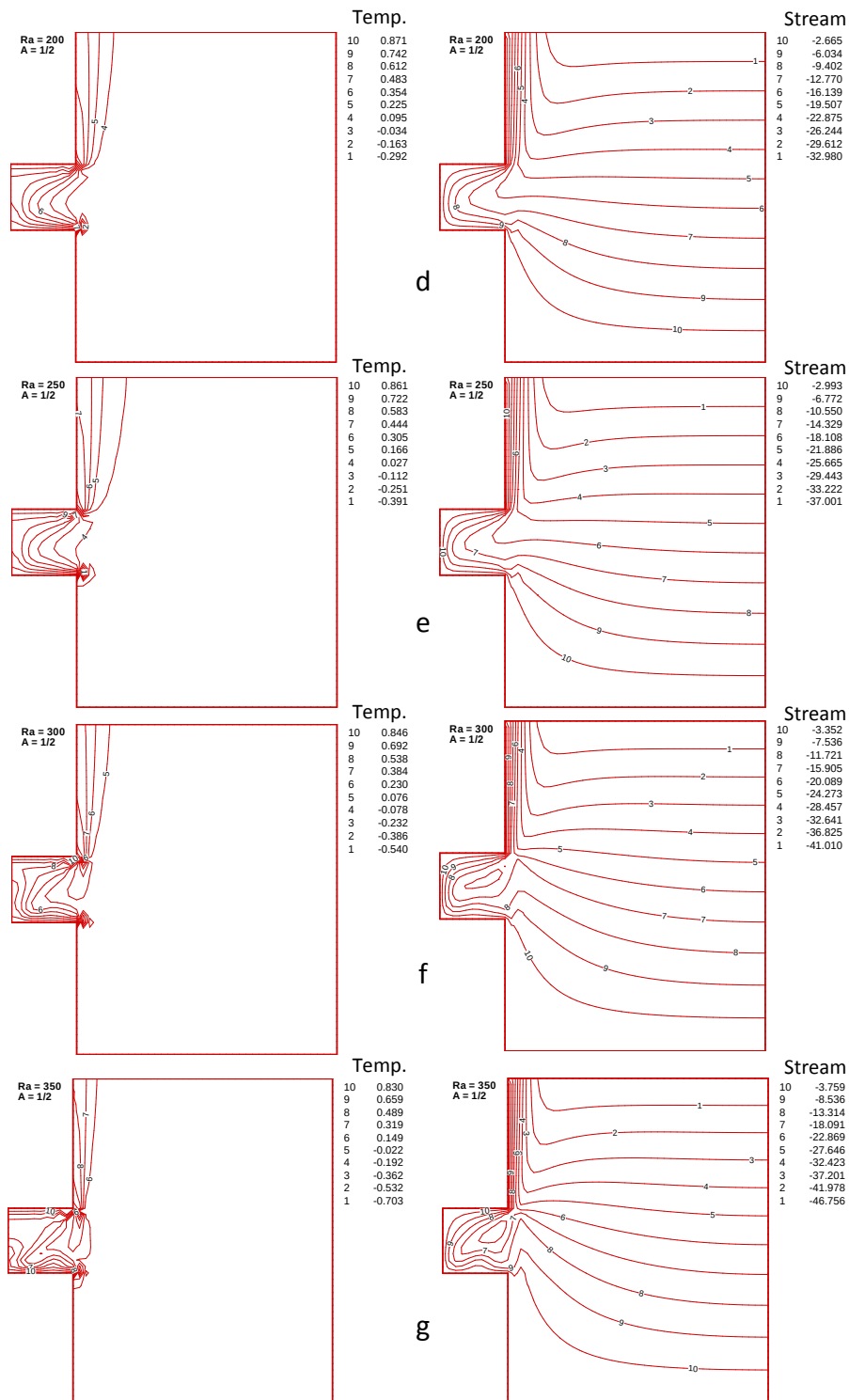
عدد رابلي $(\kappa g \beta h \Delta T / \nu \alpha_e)$	[–]Ra
الزمن	[s] t
درجة الحرارة	[K] T
درجة حرارة السطح السفلي	[K] T ₁
درجة حرارة السطح العلوي	[K] T ₂
درجة حرارة المحيط بعيداً عن الفجوة	[K] T _∞
مركبة السرعة بالاتجاه (x)	[ms ⁻¹] u
مركبة السرعة بالاتجاه (y)	[ms ⁻¹] v
الاحداثي الأفقي	[m] x
الاحداثي الأفقي اللابيدي (x/d)	[–]X
الاحداثي العمودي	[m] y
الاحداثي العمودي اللابيدي (y/d)	[–]Y

الرموز الاغريقية

الانتشارية الحرارية الفعالة	[m ² s ⁻¹] α _e
معامل التمدد الحجمي	[K ⁻¹] β
درجة الحرارة اللابيديّة $((T - T_{\infty}) / (T_1 - T_{\infty}))$	[–] θ
نفاذية الوسط المسامي	[m ²] κ
اللزوجة الكينماتية	[m ² s ⁻¹] ν
السعة الحرارية	[–] σ
الزمن اللابيدي $(\alpha_e t / \sigma d^2)$	[–] τ
دالة الانسياب اللابيديّة	[–] ψ

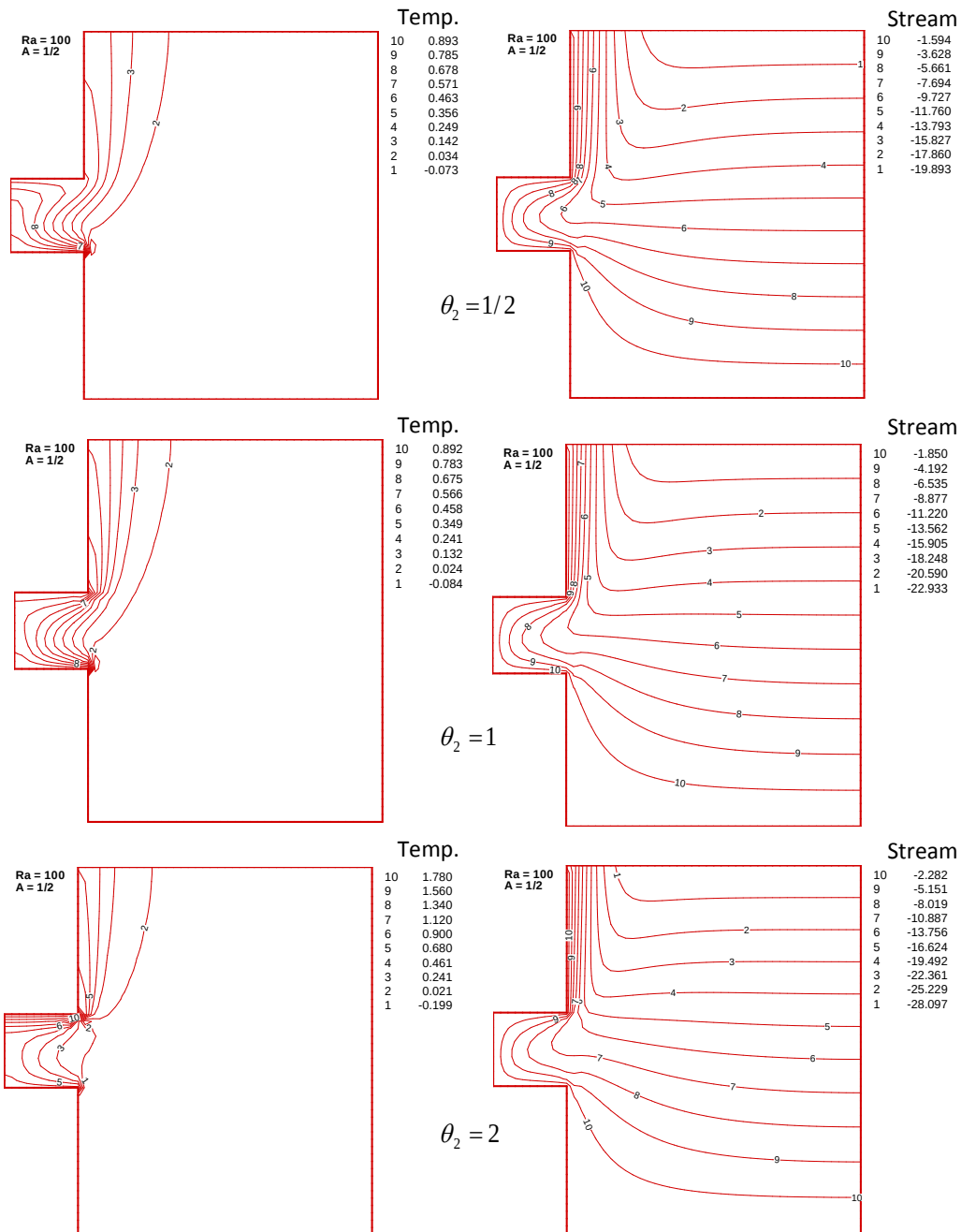
المصادر References

- [1] Qstrach, S. "Natural Convection in Enclosures", Advanced Heat Transfer (8), pp. (161-227), (1972)
- [2] Cheng, P. "Heat Transfer in Geothermal Systems". Advanced Heat Transfer (14), pp. (1-105), (1979).
- [3] Ostrach, S. "Natural Convection Heat Transfer in Cavities and Cells". Keynote paper at the Seventh International Heat Transfer Conference, Munich (1982).
- [4] Manca, O. S. Nardini, and K. Vafai, "Natural convection in an open cavity with heated walls" Experimental Heat Transfer, Vol. (19), No (1), pp. (53-68), January-March (2006),

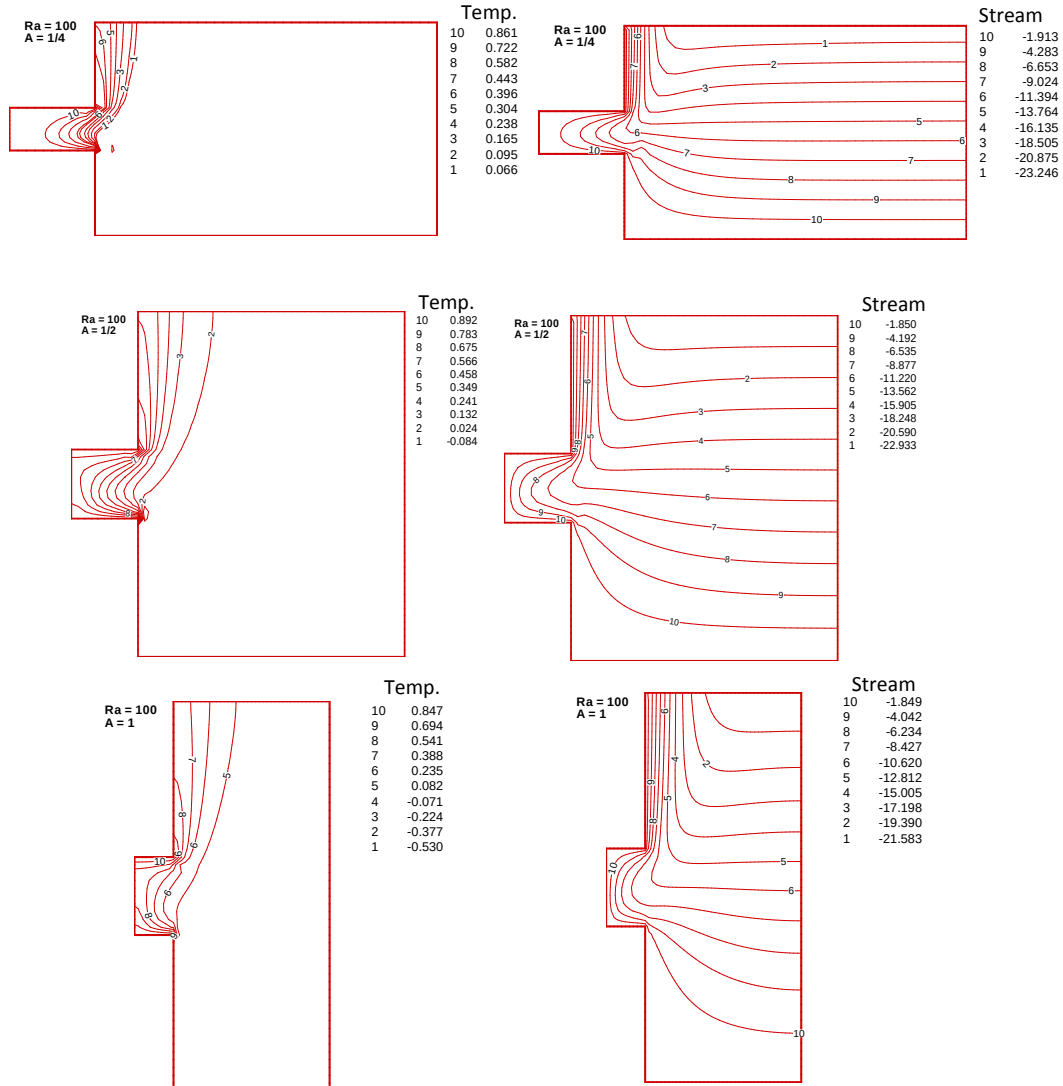


شكل (3- d,e,f,g) تأثير زيادة عدد راييلي على دالة الانسياب ودرجة الحرارة عند

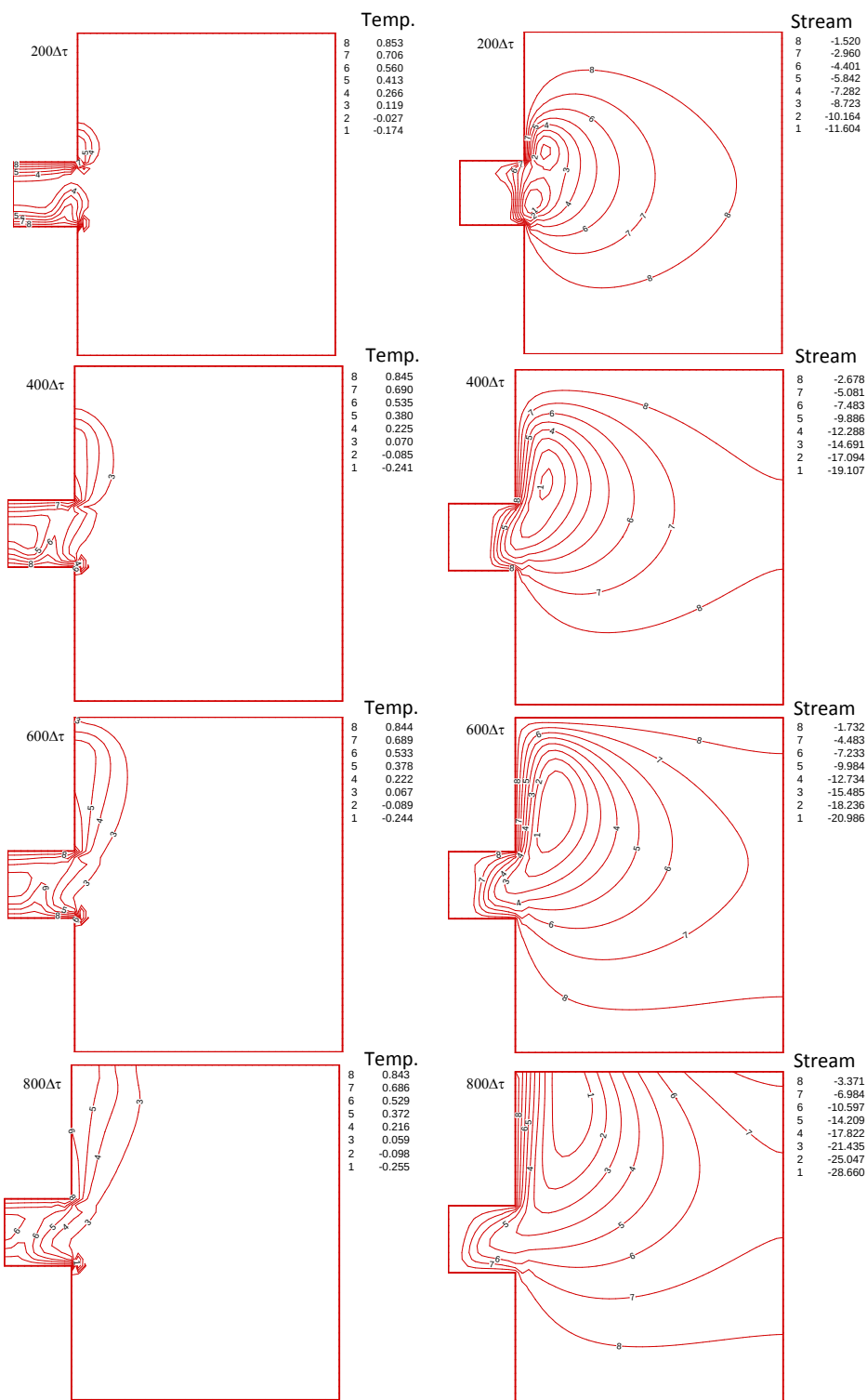
$(\theta_2 = 1)$ و $(A=1/2)$.



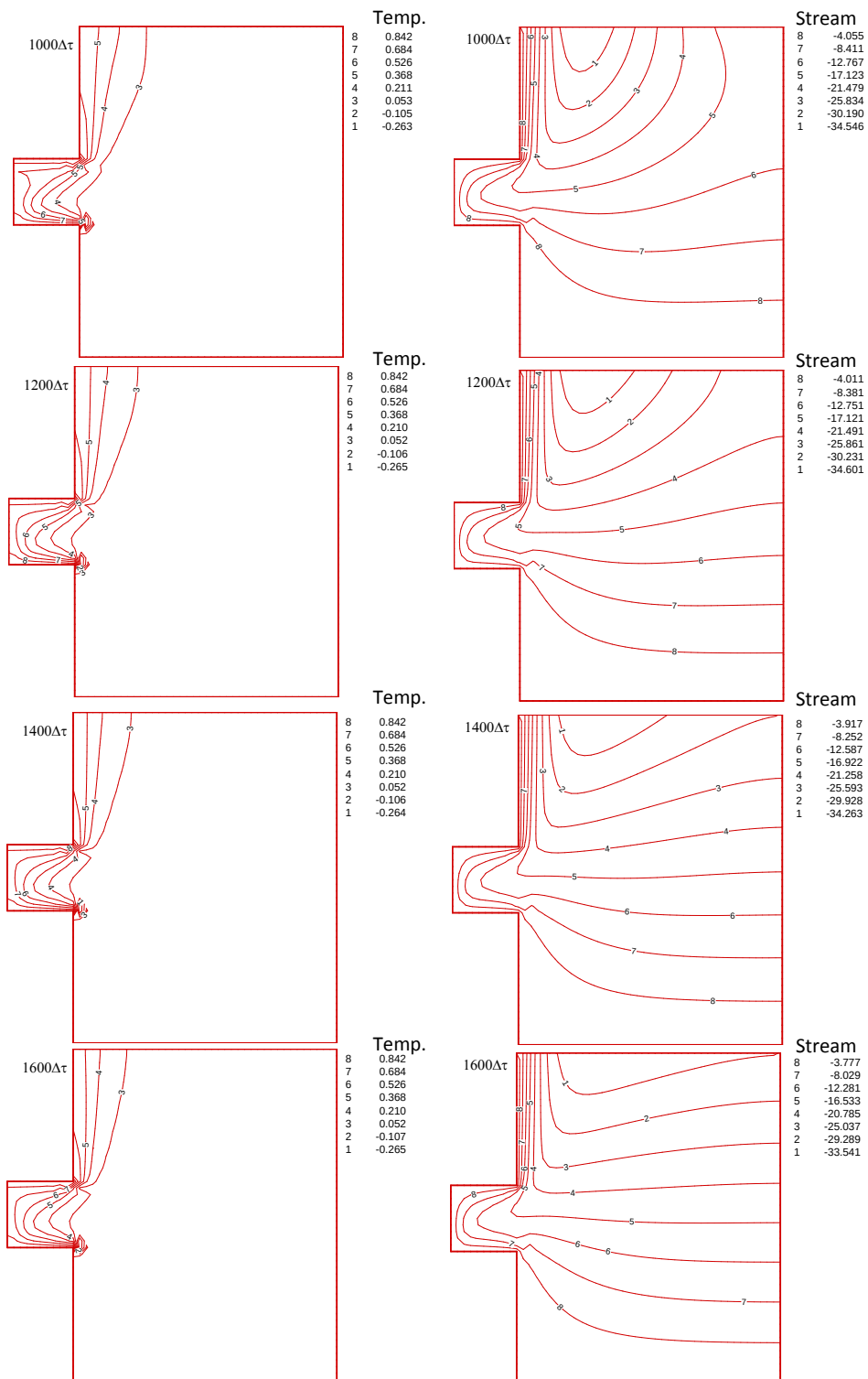
شكل (4) تأثير زيادة درجة حرارة السطح العلوي (θ_2) على دالة الانسياب ودرجة الحرارة.



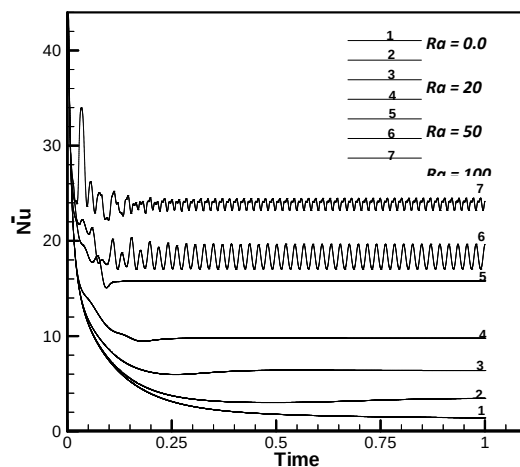
شكل (5) تأثير زيادة النسبة الباعية (A) على دالة الانتساب ودرجة الحرارة عند ($\theta_2 = 1$).



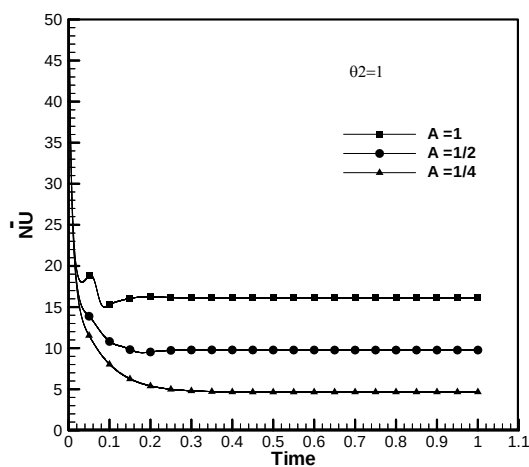
شكل (6) دالة الانسياب ودرجات الحرارة عند $(\theta_2 = 1)$ ، $(A = 1/2)$ و $(Ra = 200)$ عند $(200\Delta\tau \leq \tau \leq 800\Delta\tau)$.



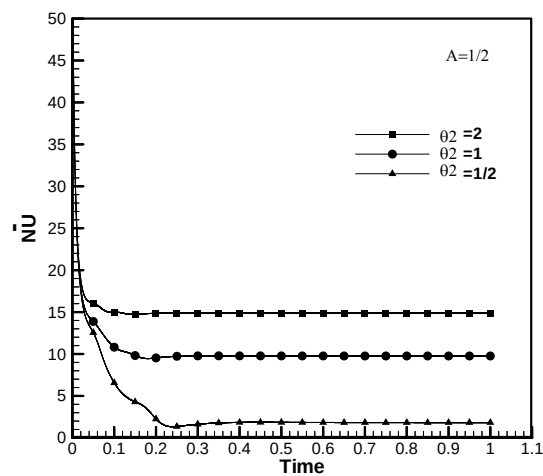
شكل (7) دالة الانسياب ودرجات الحرارة عند $(\theta_2 = 1)$ ، و $(A=1/2)$ و $(Ra = 200)$ عند $(1000\Delta\tau \leq \tau \leq 1600\Delta\tau)$.



شكل (8) التغير الزمني لعدد نسلت عند $(\theta_2 = 1)$ ، لاعداد راييلي مختلفة.



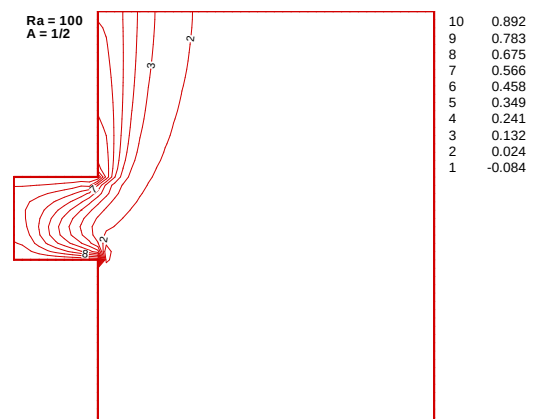
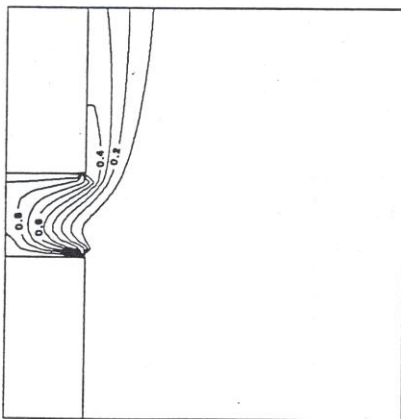
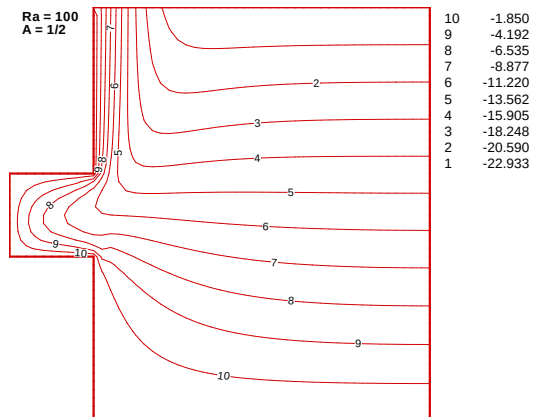
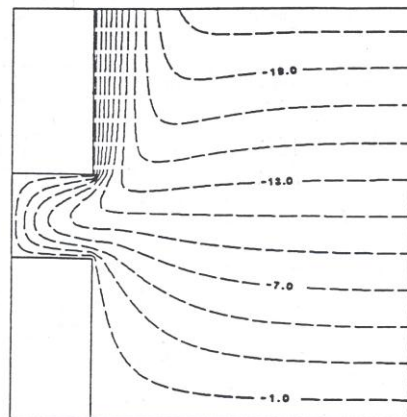
(b)



(a)

شكل (9) (a) التغير الزمني لعدد نسلت عند $(Ra=100)$ ، لقيم (θ_2) مختلفة

(b) التغير الزمني لعدد نسلت عند $(Ra=100)$ ، لقيم (A) مختلفة.



شكل (١٠) مقارنة نتائج البحث الحالي مع المصدر [15] لدالة الانسياب ودرجة الحرارة.