دراسة عددية لانتقال الحرارة بالحمل الحر داخل فجوة مملوءة بوسط مسامي مشبع بوجود توليد حراري داخلي

اياد فؤاد حميد محمد
تاريخ التسليم:2007/3/14
تاريخ القبول:2007/7/5

الخلاصة:
تم دراسة الحمل الحر المستقر ثنائي البعد داخل فجوة مستطيلة مملوءة بوسط مسامي مشبع مولّد للحرارة عددياً لحالتين: الأولى عندما تكون الجدران الأفقية اديباتية والثانية عندما تكون باردة مع بقاء الجدار العمودي بارد وبدرجة حرارة ثابتة، تم استخدام طريقة الفروق المحددة لتحويل معادلتي الزخم والطاقة من الصيغ التفاضلية الى الصيغ الجبرية، تم إستخدام طريقة الارخاء لحل معادلة الزخم بينما تم استخدام (L.S.O.R.) لحل معادلة الطاقة ولمدى عدد رايلي ($10 \le Ra \le 10^4$)، تم تمثيل النتائج بخطوط كنتورية لدالة الإنسياب، درجة الحرارة، أقصى درجة داخل الفجوة ومتوسط عدد نسلت، الجريان الناتج من الحمل الحراري مع الحرارة المتولدة داخل الفجوة تؤدي الى توليد وسط متراصف عند إعداد رايلي العالية. تغيير الشرط الحدي للجدران الأفقية من أديباتية الى باردة تقلل من أقصى قيمة لدرجة الحرارة داخل الفجوة (θ_{max}) كذالك وجد بأن إنتقال الحرارة يزداد مع إزدياد عدد رايلي ويقل بأزدياد النسبة الباعية. تأثير النسبة الباعية على إنتقال الحرارة يظهر عند ($Ra > 50$).

Abstract:
Two – dimensional, steady natural convection in a rectangular cavity filled with a heat generating saturated porous medium has been studied numerically for the case when the vertical walls of the cavity are isothermal and the horizontal walls are either adiabatic or cold. Finite difference method was used to transform the momentum and energy equations from the differential form to the algebraic form; relaxation method was used to solve the momentum equation, while (L.S.O.R.) method was used to solve the energy equation for Rayleigh No. ranges ($10 \le Ra \le 10^4$). Results are presented in terms of the stream lines and isotherms, the maximum temperature in the cavity and intermediate Nusselt number. The thermal convection flow together with the uniform heat generating produces a highly stratified medium at high Rayleigh numbers. The horizontal wall boundary condition changes from adiabatic to cold reduces (θ_{max}) also it is found that heat transfer increases with increasing

https://doi.org/10.30684/ etj.26.4.12
University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758

قسم هندسة المكائن والمعدات الجامعة التكنولوجية

Rayligh number while it decrease with aspect ratio. The effect of aspect ratio on heal transfer will appear when (Ra > 50).

قائمة الرموز(Nomenclature)

A	النسبة الباعية (L/D)
C	السعة الحرارية للمائع بثبوت الضغط (J/kg.K)
D	عرض نصف الفجوة (m)
g	التعجيل الارضي (m/s^2)
h	معامل انتقال الحرارة ($W/m^2.K$)
K	نفاذية الوسط المسامي المشبع (m^2)
k	معامل التوصيل الحراري للوسط المسامي (W/m.K)
L	ارتفاع الفجوة المستطيلة (m)
Nu	عدد نسلت (hD/k)
P	الضغط (N/m^2)
Ra	عدد رايلي ($g\beta KSD^3/2k\nu\alpha$)
S	التوليد الحراري ألحجمي (W/m^3)
T	درجة الحرارة (K)
u	سرعة المائع في الاتجاه (x) (m/s)
v	سرعة المائع في الاتجاه (y) (m/s)
X	المسافة اللابعدية على المحور (x) (x/D)
Y	المسافة اللابعدية على المحور (y) (y/ D)
α	الانتشارية الحرارية للوسط المسامي ($k/\rho C$) (m^2/s)
β	معامل التمدد الحراري للمائع (1/K)
θ	درجة الحرارة اللابعدية (($T-T_c$)/($SD^2/2k$))
ν	اللزوجة الكينماتية (m^2/s)
ρ	لزوجة المائع (kg/m^3)
ϕ	تمثل اما (ψ) او (θ) في المعادلة (16)
ψ	دالة الانسياب

الرموز السفلية (subscripts)

ad	الجدران الافقية الاديباتية
c	الجدران الباردة
m	متوسط درجة الحرارة على خط التماثل
max	القيمة القصوى
o	خط التماثل (x=0)

المقدمة:

الحمل الحراري أو انتقال الحرارة بالحمل داخل وسط مسامي مشبع بمائع بوجود توليد حراري (Heat Generation) له العديد من التطبيقات الهندسية والجيوفيزيائية (Geophysical). ومن هذه التطبيقات المبادلات الحرارية الحاوية على أوساط مسامية، العزل الحراري عالي الأداء للبنايات والمخازن المبردة، مجمعات الطاقة الشمسية، التفاعلات المتسمة بإطلاق الحرارة في المفاعلات النووية، معدات إزالة الحرارة الناتجة من حطام الوقود النووي في المفاعلات النووية، ولعل أهم تطبيق هو انتقال الحرارة من المنتجات الزراعية المخزونة والتي تطلق كطاقة ناتجة من عملية الأيض النباتي (Metabolism).

أهتم العديد من الباحثين بهذا النوع من انتقال الحرارة ان بدأت دراسة انتقال الحرارة بالحمل داخل الفجوات منذ أواسط القرن الماضي ولحد الآن،فقد درس [1] (Abdelhmid Hadim) تأثير التوليد الحراري والجريان داخل الفجوات وتأثير الجريان المتجه للأسفل في انتقال الحرارة، أستخدم الباحث صيغة معدلة لقانون دارسي – برنكمان (Darcy – Brinkman) في معادلة الحركة وتم حل المعادلات الناتجة باستخدام طريقة (Gralerkin). تم درس تأثير عدد رايلي وعدد بكلت للجريان المتجه للأسفل وتأثير نفاذية الوسط المسامي في انتقال الحرارة داخل الفجوة فقد ذكر الباحث أن النتائج التي تم الحصول عليها متوافقة مع النتائج السابقة.

[2] (Y. Tasak et al) درسوا تأثير عدد رايلي في التوسيع الحاصل في انتقال الحرارة بالحمل والناتج من توليد حراري داخلي . تمت الدراسة من خلال تحليل مجال درجة الحرارة في فجوة. تم تحليل مجال توزيع درجة الحرارة باستخدام (Thermo – Chromic (TLC) Liquid Crystal) الذي يبين التوسيع في الخلايا الحرارية. وباستخدام نظام معايرة خاص تم تحويل الصور إلى مجال درجة حرارة عند قيم مختلفة لعدد رايلي ز أظهرت النتائج أن قيم درجات الحرارة تكون اكبر ما يمكن عند النهايات العليا للفجوة. نظام المعايرة المستخدم اعتمد على الطول الموجي لكل صورة مأخوذة وتغيرها مع تغير درجة الحرارة وعدد رايلي.

[3] (Jue T.C.) درس تحليل الحمل الحراري داخل فجوة مملوءة بوسط مسامي مشبع بمائع بوجود التوليد الحراري الداخلي وبوجود التسخين في الجدران الجانبية بأستخدام طريقة العناصر المحددة شبه الضمنية (Semi- Implicit Finite Dement Method)، تم افتراض ان قيم عدد رايلي بين القيم ($10^3 < Ra < 10^8$) ولعدد دارسي ($10^{-10} < Da < 10^{-1}$) النتائج شملت مجال الجريان في الحالة المستقرة وقيم اعداد نسلت، اظهرت النتائج ان تاثيرالمسامية في انتقال الحرارة يبدأ عند عدد دارسي ($Da \geq 10^{-2}$) وتقليل المسامية يقلل من قوة الدوامات الحرارية الخارجية مما يتيح المجال امام التغيرات الناتجة من الدوامات الداخلية والمتولدة من التوليد الحراري.

في العام (1992) درس كل من [4] (Z.G.Dnand E.Bilgen) انتقال الحرارة المستقر في فجوة ثنائية البعد مملوءة بوسط مسامي مشبع مع وجود توليد حراري منتظم، الشروط الحدية هي : جدران جانبية متساوية الحرارة بدرجات حرارة مختلفة وجدران اديباتية. النسبة الباعية تتغير من (0.1) الى (10) وعدد رايلي من (10^0) الى (10^8). تم تمثيل النتائج بخطوط درجات الحرارة ودالة الانسياب وقيم درجة الحرارة القصوى داخل الفجوة وانتقال الحرارة من الجدران الجانبية. اظهرت النتائج التاثير الكبير لعدد رايلي والنسبة الباعية في انتقال الحرارة داخل الفجوة.

بينما في العام (2002) درس كل من [5] (A. khalili, I.S. Shivakumara, M. Huettel) تأثير كل من من توليد الحرارة والجريان التداخلي في استقرارية انتقال الحرارة في وسط مسامي متباين الخواص، تم افتراض ان الوسط المسامي يكون نافذ مرة وغير نافذ مرة اخرى كشروط حدية للمسالة وتم فرض ان الوسط المسامي في كلتا الحالتين موصل جيد. اعتمد الباحثون على موديل (Forchheimer – Extended Darcy) لوصف الجريان داخل الوسط المسامي، وتم حل المسألة عدديا باستخدام طريقة (Galerkin)، خواص الوسط المسامي تم افترضت بالقيمة (h) التي تمثل الانتشارية الحرارية الفعالة والقيمة (x) التي تعبر عن النفاذية، باعتبار القيم (h/x) وجد الباحثون انه زيادة هذه القيمة تؤدي زيادة الاستقرارية في النظام بينما وجود التوليد الحراري يقلل من استقرارية انتقال الحرارة عندما تكون الجدران غير متناظرة الخواص.

في نفس العام قدم الباحثون [6] (M.R. Dhanasekaram et al) نفس الدراسة السابقة ولكن لحالة فجوة اسطوانية بجدران متساوية الحرارة وسطح معزول كلياً في الاسفل والاعلى، فقد درس الباحثون تأثير كل من النفاذية والتوليد الحراري على انتقال الحرارة بالحمل داخل الفجوة الاسطوانية وأظهرت النتائج انه بزيادة قيمة النفاذية تزداد قيمة درجة الحرارة القصوى داخل الفجوة كذلك الحال عند وجود التوليد الحراري اذ تزداد اقصى درجة حرارة بوجود التوليد الحراري عندما تكون النسبة الباعية اكبر من واحد.

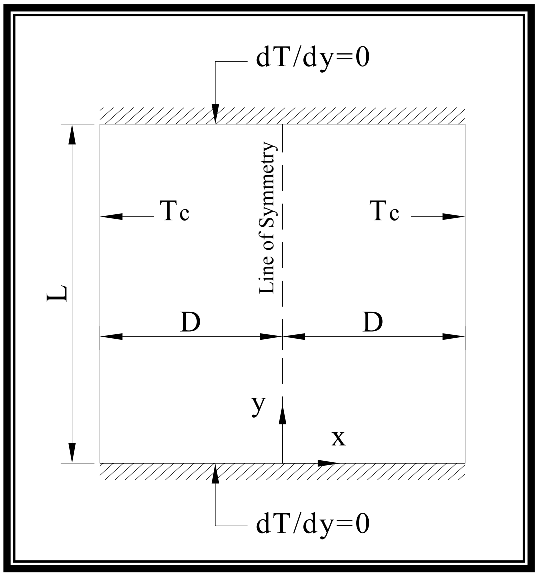
الدراسات السابقة المذكورة اعلاه وغيرها [7,8,9,10,11] اهتمت بكون جدران الفجوة الجانبية متساوية الحرارة (Isothermal) والجدران العلوية والسفلية أديباتية ولنسبة باعية محدودة.

الغرض من الدراسة الحالية دراسة الحمل الحراري داخل فجوة مستطيلة تحوي وسط مسامي مشبع بوجود التوليد الحراري عندما تكون الجدران العمودية باردة والجدران الافقية تكون اما باردة او معزولة، تم تحليل المسالة عددياً لحالة الجريان المستقر ثنائي البعد لمدى واسع من عدد رايلي والنسبة الباعية عن طريق تمثيل النتائج بخطوط انسياب مغلقة لدالة الانسياب ودرجات الحرارة.

2- التحليل الرياضي Theoretical Analysis:

شملت الدراسة الحالية التعامل مع انتقال الحرارة بالحمل داخل فجوة مستطيلة بوجود وسط مسامي مشبع وبوجود توليد حراري داخلي، فقد تم بالاعتماد على الفرضيات المبينة لاحقاً الحصول على المعادلات الحاكمة التي تصف هذه المسالة.

الشكل (1) يبين مخطط توضيحي للفجوة المستطيلة والمملوءة بوسط مسامي مشبع مع جدران عمودية باردة، الوسط المسامي مشبع بمائع ويولد حرارة بمعدل منتظم، افتراض ان جدران الفجوة غير نافذة. كذلك في الوسط المسامي تم فرض ان قانون دارسي ساري المفعول والمائع خاضع لقانون بوسينسيك (Boussinesq)، حدي القصور واللزوجة مهملين في معادلات الحركة بافتراض ان عدد دارسي يكون قليلا وعدد براندتل يكون عالي [12,13].



الشكل (1) مخطط توضيحي للفجوة المستطيلة مع الشروط الحدية.

مع الفرضي ، الزخم، والطاقة لوسط مسامي متجانس، متناظر الخواص، ثنائي البعد وللحالة المستقرة يمكن كتابتها كالاتي :- [4]

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \qquad \ldots (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{K} u = 0 \qquad \ldots (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g + \frac{\mu}{K} v = 0 \qquad \ldots (3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right] + \frac{S}{\rho C} \qquad \ldots (4)$$

حيث ان (S) هي النسبة الحجمية للحرارة المتوادة.
بتعريف الحرارة اللابعدية:- [4]

$$\theta = \frac{(T - T_c)}{SD^2 / 2k} \qquad \ldots (5)$$

ودالة الانسياب:-

$$u = -\frac{\alpha}{D} \frac{\partial \psi}{\partial Y} \ ، \quad v = \frac{\alpha L}{D^2} \frac{\partial \psi}{\partial X} \qquad \ldots (6)$$

فان المعادلات الحا كمة (1-4) مع الاخذ بتقريب بوسنسيك لتغير الكثافة يمكن كتابتها بالشكل التالي :-

$$A^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial Y^2} = RaA \frac{\partial \theta}{\partial X} \qquad \ldots (7)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial X} \frac{\partial \theta}{\partial Y} - \frac{\partial \psi}{\partial Y} \frac{\partial \theta}{\partial X} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{1}{A^2} \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} + 2 \qquad \ldots (8)$$

حيث ان عدد رايلي بالاعتماد على مقدار التوليد الحراري الحجمي يمكن كتابته بالشكل الاتي:-

$$Ra = \frac{g \beta KSD^3}{2 \nu \alpha k} \qquad \ldots (9)$$

الشروط الحدية الحرارية والهيدروديناميكية يمكن كتابتها كالتالي:-

$$X = 0 \ , \ \psi = 0 \ , \ \frac{\partial \theta}{\partial X} = 0 \qquad \ldots (10)$$

$$X = 1, \ \psi = 0, \ \theta = 0 \qquad \ldots (11)$$

$$Y = 0 \ \ and \ 1 \ , \psi = 0, \ \frac{\partial \theta}{\partial Y} = 0 \ \text{or} \ \theta = \text{D} \qquad \ldots (12)$$

بالنسبة لعدد نسلت فانه يمكن الحصول عليه بطريقتين، الاولى بالاعتماد على اقصى درجة حرارة داخل الفجوة بعد تعريف معامل انتقال الحرارة على الجدران

الباردة (العمودية) بدلالة اقصى درجة حرارة في الفجوة كما في المعادلة الاتية :-

$$h(T_{\max} - T_c) = -\frac{k}{L}\int_0^L \frac{\partial T}{\partial X}\Big|_{X=D} \quad dy$$

... (13)

حيث ان عدد نسلت يكون في هذه الحالة :-

$$Nu_{\max} = \frac{2}{\theta_{\max}} \qquad \dots (14)$$

بينما يمكن الحصول على عدد نسلت بطريقة ثانية بالإعتماد على متوسط درجة الحرارة (T_m) :

$$Nu_m = \frac{2}{\theta_m} \qquad \dots (15)$$

3- الحل العددي Numerical Solution:

سيتم من خلال هذه الفقرة وصف مبسط لطريقة الحل المستخدمة في حل معادلتي الزخم والطاقة . تم تحويل المعدلات من صيغتها التفاضلية المعقدة الى معادلات خطية بسيطة بإستخدام طريقة الفروق المحددة (Finite Difference). و إستخدام طريقة الارخاء (Relaxation Method) لحل معادلة دالة الانسياب (معادلة (7)) بينما تم استخدام (LSOR) (Line Successive Over Relaxation) لحل معادلة الطاقة (معادلة (8)).

يمكن كتابة الصيغة النهائية لحل المعادلات أعلاه بالشكل كالاتي [14] :

$$a_p\phi_p = a_e\phi_e + a_w\phi_w + a_n\phi_n + a_s\phi_s + Su$$

... (16)

حيث أن (a_p,a_e,a_w,a_n,a_s) تمثل معامل الحدود عند أي عقدة من عقد الشبكة (p) والعقد التي تقع على يمينها (e) ويسارها (w) وشمالها (n) وجنوبها(s) على التوالي . بينما يمثل الحد (ϕ) أما دالة الإنسياب أو درجة الحرارة و (Su) تمثل حد المصدر.

عوامل دالة الإنسياب في المعادلة (7) هي كالتالي :

$$a_e = \frac{-A^2}{\Delta x^2}$$

$$a_w = \frac{-A^2}{\Delta x^2}$$

$$a_n = -\frac{1}{\Delta y^2}$$

$$a_s = \frac{-1}{\Delta y^2} \qquad \dots (17)$$

$$a_p = -[\frac{2A^2}{\Delta x^2} + \frac{2}{\Delta y^2}]$$

$$Su = RaA(T_e - T_w)/2/\Delta x$$

بينما عوامل درجة الحرارة في المعادلة (8) هي كالاتي:

$$a_e = \frac{1}{\Delta x^2}$$

$$a_w = \frac{1}{\Delta x^2}$$

$$a_n = \frac{1}{A^2 \Delta y^2} \qquad \ldots (18)$$

$$a_s = \frac{1}{A^2 \Delta y^2}$$

$$a_p = [\frac{2}{\Delta x^2} + \frac{2}{A^2 \Delta y^2}]$$

$$S_n = -[\psi_e - \psi_w / 2 / \Delta x][T_n - T_s / 2 / \Delta y] + [\psi_n - \psi_s / 2 / \Delta y][T_e - T_w / 2 / \Delta x]$$

كل من $(\Delta y, \Delta x)$ تمثل المسافة الأفقية والعمودية على التوالي والتي تفصل ما بين العقد.

شرط التقارب لكل من دالة الإنسياب (ψ) ودرجة الحرارة (θ) افترض كالاتي:

$$\left| \frac{\phi^n - \phi^{n-1}}{\phi^n} \right| < 10^{-4} \qquad \ldots (19)$$

لعدد رايلي (Ra<500) تم إستخدام شبكة منتظمة في الحسابات العددية بينما تم إستخدام شبكة عقد غير منتظمة لأعداد رايلي العالية.

عدد نقاط الشبكة في الأتجاهين (x) و(y) يعتمد على قيم أعداد رايلي (Ra) والنسبة الباعية (A) وقد تم استخدام مجال الشبكة الموضح في الجدول (1) في الدراسة الحالية:

A≤1	31 x 31
2≤A≤5	31 x 121
A>5	31 x 181

جدول (1) عدد العقد في الشبكة وتغيرها مع تغير قيمة النسبة الباعية (A)

تم إختيار هذه القيم بالاعتماد على عدة محاولات من الصح والخطأ ولحين وصول قيم أعداد نسلت (Nu) الى قيم المحاذية لها. [12]

4- <u>النتائج والمناقشة</u> <u>Results and Discussion:</u>

تم في هذا البحث إجراء دراسة عددية لإنتقال الحرارة داخل فجوة مستطيلة مملوءة بوسط مسامي مشبع بوجود توليد حراري داخلي (Internal Heat Generation) لحالتين: الآولى عندما تكون الجدران العمودية للفجوة باردة وبدرجة حرارة ثابتة بينما الجدران الأفقية أديباتية، الحالة الثانية تم افتراض أن الجدران الأفقية باردة مع بقاء الجدران العمودية على الفرضية نفسها للحالة الأولى (أي باردة وبدرجة حرارة ثابتة). تم تغير النسبة الباعية حسب القيم (0.5 ≤ A ≤ 10) وبعدد رايلي ($10 \leq Ra \leq 10^4$)لكلتا الحالتين. بسبب وجود التماثل في الدراسة الحالية تم حل الجزء الأيمن فقط من الفجوة (الشكل (1)).

1- الحالة الأولى: الجدران الأفقية اديباتية.

الشكل (2) يبين تأثير عدد رايلي (Ra)في توزيع دالة الإنسياب ودرجة الحرارة داخل الفجوة عندما تكون النسبة الباعية (A = 1) و(Ra=10)، حيث نلاحظ أن خطوط دالة الإنسياب تكون متماثلة حول مركز الفجوة المستطيلة (Y=0.5) بينما خطوط توزيع درجات الحرارة تكون تقريباً عمودية خاصة عند الجدار الافقي البارد (الجدار الأيمن) عندما تكون قيمة عدد رايلي قليلة (Ra = 10)، زيادة عدد رايلي تؤدي الى عدم التماثل في خطوط الإنسياب حول المركز وتحريك خطوط درجة الحرارة نحو الجدار العلوي حيث تقترب خطوط دالة الإنسياب من الجدار العمودي الأيمن بزيادة قيمة عدد رايلي دلالة على زيادة سرعة الجريان قرب هذا الجدار بتأثير تولد

الطبقة المتآخمة بينما تقل سرعة الجريان بالقرب من الجدار العمودي الأيسر (خط التماثل). بالنسبة لدرجات الحرارة فإن حركة خطوط درجات الحرارة نحو الجدار العلوي دلالة على تأثير الحمل الذي يظهر بزيادة عدد رايلي.

الشكل (3) يمثل تغير درجة الحرارة على طول خط التماثل (Symmetry line) عند قيم مختلفة لعدد رايلي (Ra) و ($A = 1$)، حيث نلاحظ إزدياد قيمة درجة الحرارة اللابعدية (θ_o) عند كل قيمة لعدد رايلي بالابتعاد عن نقطة الأصل، زيادة عدد رايلي تؤدي الى التقليل من درجة الحرارة اللابعدية عن قيمها القصوى (θ_o=1) باعتبار أن ميكانيكية أنتقال الحرارة تصبح الحمل بدلاً من التوصيل.

الشكل (4) يمثل توزيع أقصى درجة حرارة في الفجوة وتغيرها مع عدد رايلي لنسب باعية مختلفة، حيث نلاحظ بصورة عامة إضمحلال قيمة أقصى درجة حرارة بزيادة عدد رايلي لكل قيمة من قيم (A)، لكن إزدياد قيمة النسبة الباعية يزيد من قيمة (θ_{max}) عند كل قيمة من قيم (Ra)، نلاحظ زيادة طفيفة في قيمة أقصى درجة حرارة (θ_{max})عند قيم رايلي القليلة ($Ra \le 100$) و($A>4$) قبل أن تبدا قيمها بالنقصان تدريجياً وهذا يعزى الى أن المائع الساخن الذي يصل الى الجهة اليسرى العليا من الفجوة (حيث قيم درجة الحرارة أعلى مايمكن) غير قادر على طرد الحرارة بصورة فعالة لان سرعة الجريان قليلة في هذه المنطقة [15]. تم مقارنة نتائج البحث الحالي لحالة ($A=4$) مع نتائج البحث [15] ووجد أن التوافق جيد بين النتائج بنسبة خطأ لاتتجاوز 5% .

الشكل (5) يمثل متوسط عدد نسلت (Nu_m) وتغيره مع تغير قيم (A) لقيم رايلي مختلفة، نلاحظ من الشكل أن تأثير تغير النسبة الباعية في عدد نسلت يكون مهملا تقريباً عند قيم رايلي القليلة ($Ra \le 50$)، لكن بزيادة عدد رايلي يظهر تأثير النسبة الباعية على عدد نسلت، اذ تؤدي زيادة (A) الى التقليل من قيم (Nu_m)، زيادة عدد رايلي بصورة عامة تؤدي الى زيادة قيمة عدد نسلت لأي قيمة من (A)، وهذا مانلاحظه من الشكل (6) حيث تزداد قيمة متوسط عدد نسلت (Nu_m) بزيادة قيم عدد رايلي (Ra) عندما تكون قيمة النسبة الباعية ($A=1$) و ($A=10$)، للتأكد من نتائج البحث الحالي تمت المقارنة مع البحث [12] عند ($A=1$)، الشكل (6) يوضح التقارب بين النتائج.

الشكل (7) يمثل تأثير زيادة النسبة الباعية (A) في دالة الإنسياب ودرجة الحرارة داخل الفجوة المستطيلة، حيث نلاحظ أن قيم دالة الإنسياب تزداد بإزدياد النسبة الباعية، اما درجات الحرارة فأنها تقل بزيادة قيمة النسبة الباعية من (0.5) الى (1) وتبدا بعد ذلك بالزيادة مع ازدياد قيمة (A) بسبب اندفاع خطوط درجات الحرارة نحو الأسفل مما يزيد من درجات الحرارة داخل الفجوة.

2- الحالة الثانية: الجدران الافقية باردة.

الشكل (8) يمثل تأثير زيادة عدد رايلي (Ra)في دالة الإنسياب ودرجة الحرارة عندما تكون الجدران الأفقية باردة والنسبة الباعية ($A=1$)، بالنسبة لدالة الإنسياب فإن الخطوط متماثلة حول مركز الفجوة ($Y=0.5$) ثم تبدا الخطوط بالحركة نحو الأعلى بزيادة عدد رايلي وتقترب من الجدار الأيمن مولدة طبقة متآخمة عند هذا الجدار لكن بشدة أقل من الحالة الأولى (عندما تكون الجدران الأفقية أديباتية).

الشيء المميز هنا هو توزيع درجة الحرارة داخل الفجوة حيث تكون أقصى درجة حرارة في منتصف المسافة على خط التماثل وتبدا بالتحرك نحو الأعلى بزيادة عدد رايلي دلالة على أن قيم درجات الحرارة في الجزء الأسفل تقل بينما درجة الحرارة في الجزء العلوي تزداد.
قيم دالة الإنسياب ودرجات الحرارة تكون أقل في هذه الحالة من الحالة الأولى عند كل قيم أعداد رايلي.

لمعرفة مقدار تدفق الحرارة الوضعي على الجدران الباردة تم رسم العلاقة بين إنحدار الحرارة عمودياً على الجدران الباردة مع المسافة إبتداءاً من الزاوية العليا اليسرى والحركة باتجاه عقارب الساعة نزولا بالجدار الأيمن ثم الأسفل وكما موضح في الشكل (9)، نلاحظ أن أقصى درجة حرارة تكون في الزاوية اليسرى العليا للفجوة بعد ذلك تقل

تدريجياً نحو أقل قيمة لحين الوصول الى الزاوية اليمنى العليا ثم تزداد الى قيمة ما ثم تهبط من جديد لتزداد بعد ذلك على الجدار الأسفل ولكن بقيم أقل مما هي في الجدار العلوي، هذا التصرف يتغير بوصول قيمة رايلي الى ($Ra=10^3$) حيث أن أقصى قيمة لدرجة الحرارة تكون بالقرب من الزاوية اليمنى العليا للفجوة نتيجة لتأثير الطبقة المتآخمة المتولدة عند اعداد رايلي العالية، بينما نلاحظ أقل قيمة لدرجة الحرارة بالقرب من الجدار الأسفل.

3- الحالة الثالثة.

في هذه الحالة تم الربط بين الحالتين: الأولى عندما تكون الجدران الأفقية أديباتية والثانية باردة.

الشكل (10) يمثل منحني درجة الحرارة (θ_o) على خط التماثل عند عدد رايلي ($Ra=10^3$) وبنسبة باعية ($A = 1$) و ($A = 10$). نلاحظ أن ازدياد النسبة الباعية من ($A=1$) الى ($A=10$) يزيد من قيمة درجة الحرارة.

الشكل (11) يمثل منحني اضمحلال أقصى درجة حرارة (θ_{max}) مع ازدياد قيمة عدد رايلي، حيث نلاحظ أنه بالرغم من أن قيم (θ_{max}) تقل بزيادة عدد (Ra) لكن تبقى قيمها للحالة الأولى (Adiabatic Horizontal Wall) أعلى من الحالة الثانية (Cold Horizontal Wall) حتى مع زيادة النسبة الباعية من ($A = 1$) الى ($A = 10$).

الاستنتاجات :

1- زيادة عدد رايلي تؤدي الى توليد طبقة متآخمة على الجدار العمودي الأيمن للفجوة للحالتين ولكن بقوة أقل في الحالة الثانية.

2- الأبتعاد عن نقطة الأصل يزيد من قيمة درجة الحرارة على خط التماثل لحين الوصول الى الزاوية اليسرى العليا ولكن تقل هذه القيمة بازدياد عدد رايلي.

3- زيادة النسبة الباعية تؤدي زيادة قيمة أقصى درجة حرارة داخل الفجوة بالرغم من تقليل قيمتها بازدياد قيمة عدد رايلي.

4- زيادة عدد رايلي تؤدي الى زيادة انتقال الحرارة، بينما زيادة النسبة الباعية تؤدي الى تقليلها.

5- درجة حرارة الفجوة تكون أعلى في الحالة الأولى عن تلك في الحالة الثانية بثبوت عدد رايلي.

المصادر :

[1] Abdelhamid H. and Louis C. Burmeister. "Onset of Convection in a Porous Medium With Internal Heat generation and Downward Flow". Journal of Thermo physics, Vol.2 No. 4. p.p. (343-360), October 1988.

[2] . Tasaka Y. kudoh Y. , . Takeda Y and Yanagisawa.T. "Experimental Investigation of Natural Convection Induced by Internal Heat Generation". Journal of Physics conf. ser. 14. p.p. (168 -179), 2005.

[3] Jue. T.C. "Analysis of Thermal Convection in a Fluid – saturated Porous Cavity Wth Internal Heat Generation". Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 40, No. 1, p.p. (83 – 89), December 2003.

[4] Du Z.G. and Bilger.E. "Natural Convection in Vertical Cavities With Internal Heat Generation Porous Medium". Journal of Heat and Mass Transfer. Vol. 27, No. 3. p.p. (149 – 155). March 1995.

[5] Khalili A. shivakumara I.S. and Huettel. M. "Effects of Through Flow and Internal Heat Generation on Convective Instabilities in a Anisotropic Porous layer". Journal of porous media, p.p. (186 -210). 2002.

[6] Dhanasekaran M.R., Sarit kumar Das and Venkateshan S.P.. "Natural Convection in a Cylindrical Enclosure Filled With Heat Generation

[14] H.K. Versteeg and W. Malalasekera. "An Introduction to computational fluid dynamics, the finite volume method". Longman scientific and technical, John Wiley and Sons Inc. 1995.

[15] Haajizad, M.,Ozguc, A.F., and Tien, C.L., "Natural Convection in a Vertical Porous Enclosure with Internal Heat Generation". International Journal of Heat and Transfer, Vol. 27, pp.(1893-1902), 1984.

Anisotropic Porous Medium". Journal of heat transfer, Vol . 124, issue 1, p.p. (203 – 207), February , 2002.

[7] Khalili A. , shivakumara. I.S. "Onset of convection in a porous layer with net through flow and internal heat generation". American institute of physics. September 1997.

[8] Anwar M. H. And Mike W. "Natural convection flow in a fluid – saturated porous medium enclosed by non – isothermal walls with heat generation". International journal of thermal sciences. Vol. 41, issue 5, p.p. (447 – 454). April 2002.

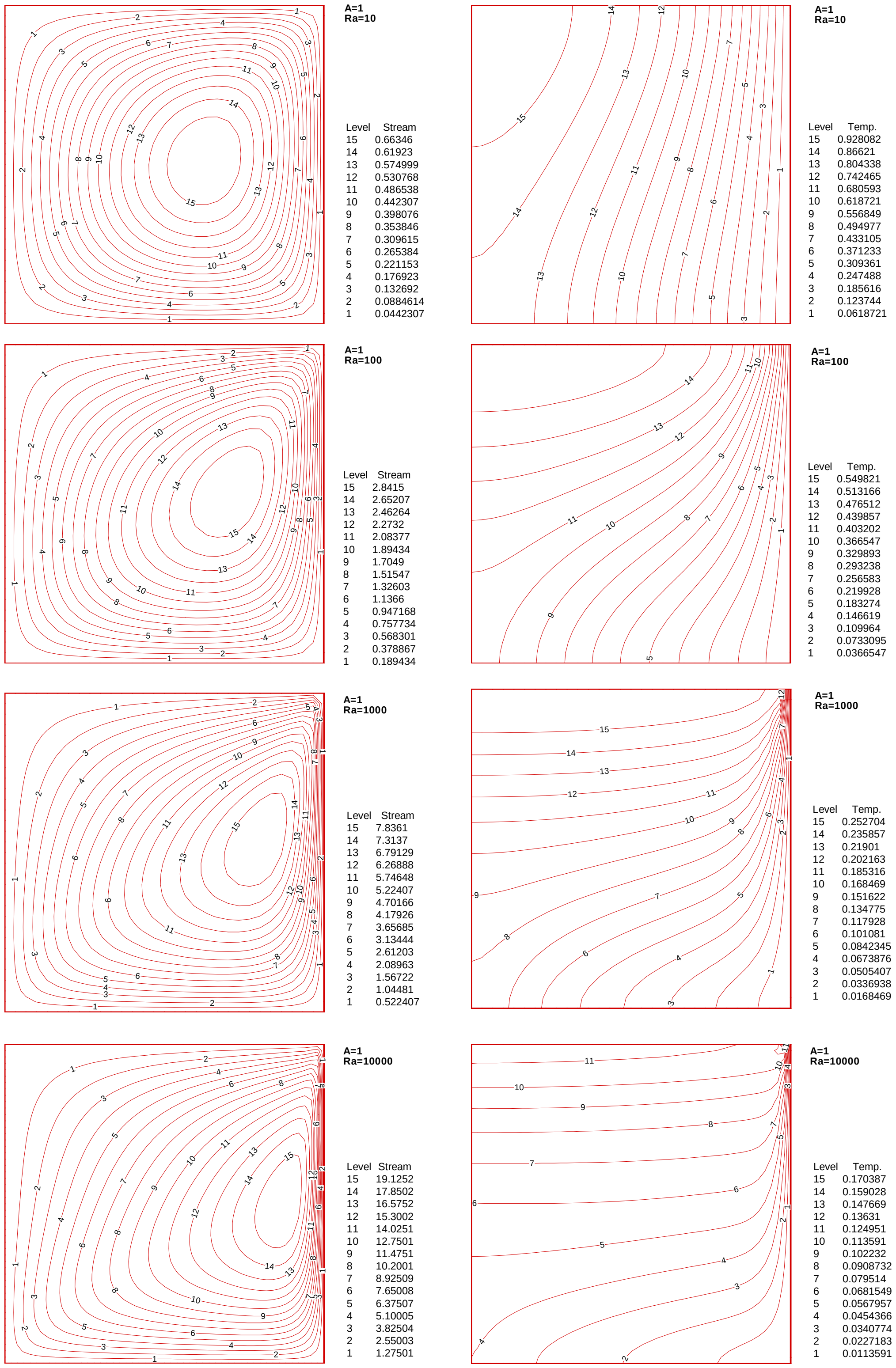
[9] A.C. Bayta. "Thermal non – equilibrium natural convection in a square enclosure filled with a heat generation solid phase non – Darcy porous medium". Journal of heat transfer in porous media. Vol. 27, issue 10, p.p. (975 – 988). January 2003.

[10] T. Constant, C. Moyne. P.Perve . "Drying with internal heat generation". American institute of chemical engineers, Vol. 42 issue 2, p.p. (359 – 368). February 1995.

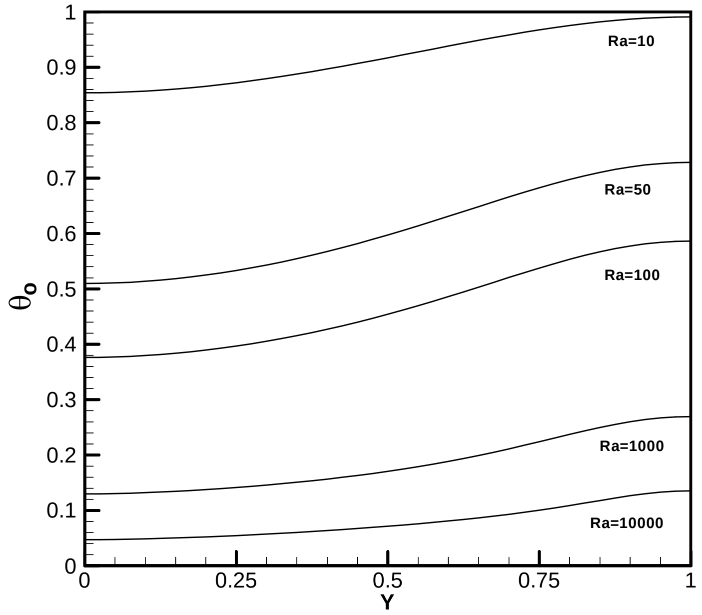
[11] A.Y. Bakier , M.A. Mansour R.S.R.Gorla , A.B.Ebiana "Nonsimilar solution for free convection from a vertical plate in porous media". Journal of heat and mass transfer, Vol .33, No. 2, p.p. (145 – 159). September 1997.

[12] V. Prassad , F.A.kulacki "Natural convection in a rectangular porous cavity with constant heat flux on one vertical wall". Transaction of the ASME, Journal of heat transfer, Vol. 106 , p.p.(152 – 157), February 1984.

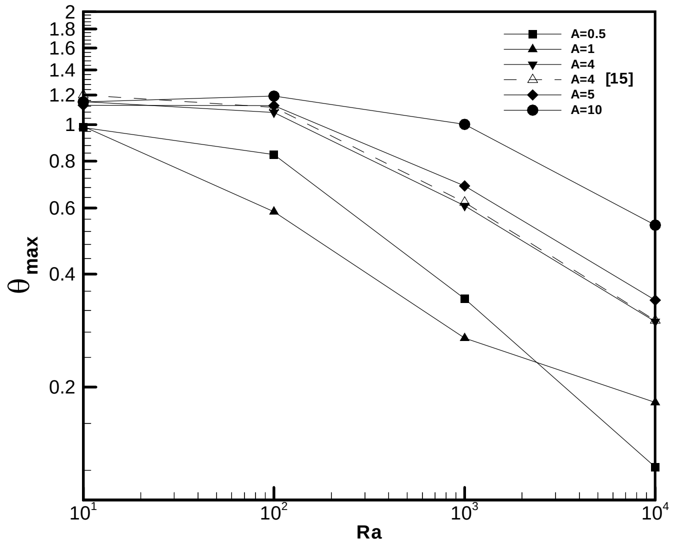
[13] V. Prasad, F.A. kulacki. "Connective heat transfer in a rectangular porous cavity - Effect of aspect ratio on flow structure and heat transfer". Transactions of the ASME. Journal of heat transfer, vol. 106, p.p. (158 – 165), February 1984.



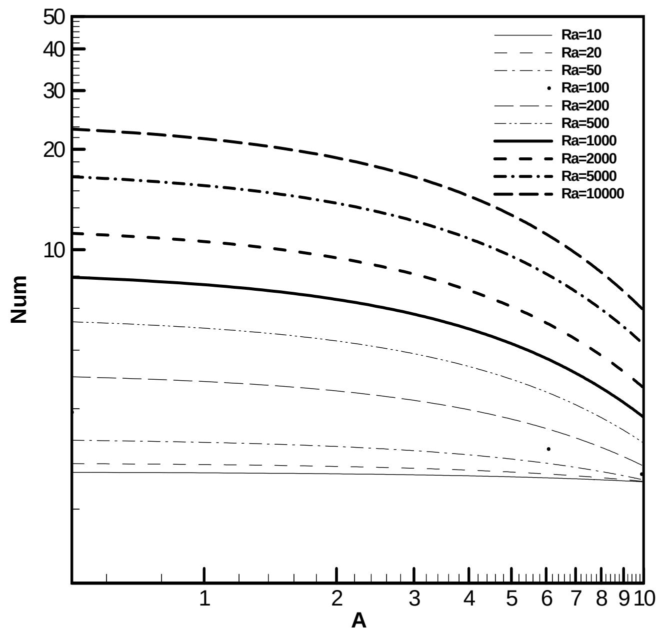
الشكل (2) تأثير زيادة عدد رايلي (Ra) على كل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة عندما تكون الجدران الافقية اديباتية (الحالة الاولى).



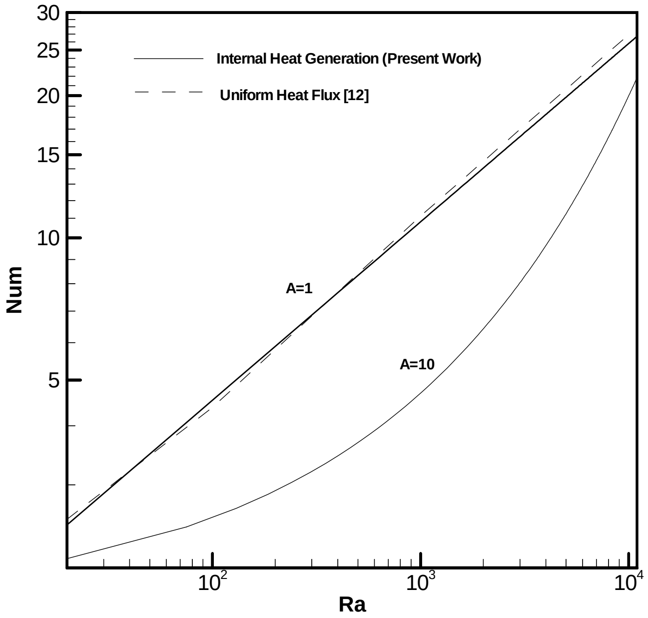
الشكل (3) تغير درجة الحرارة (θ_o) على طول خط التماثل (Symmetry Line) بتغير قيمة عدد (Ra) عند (A=1).



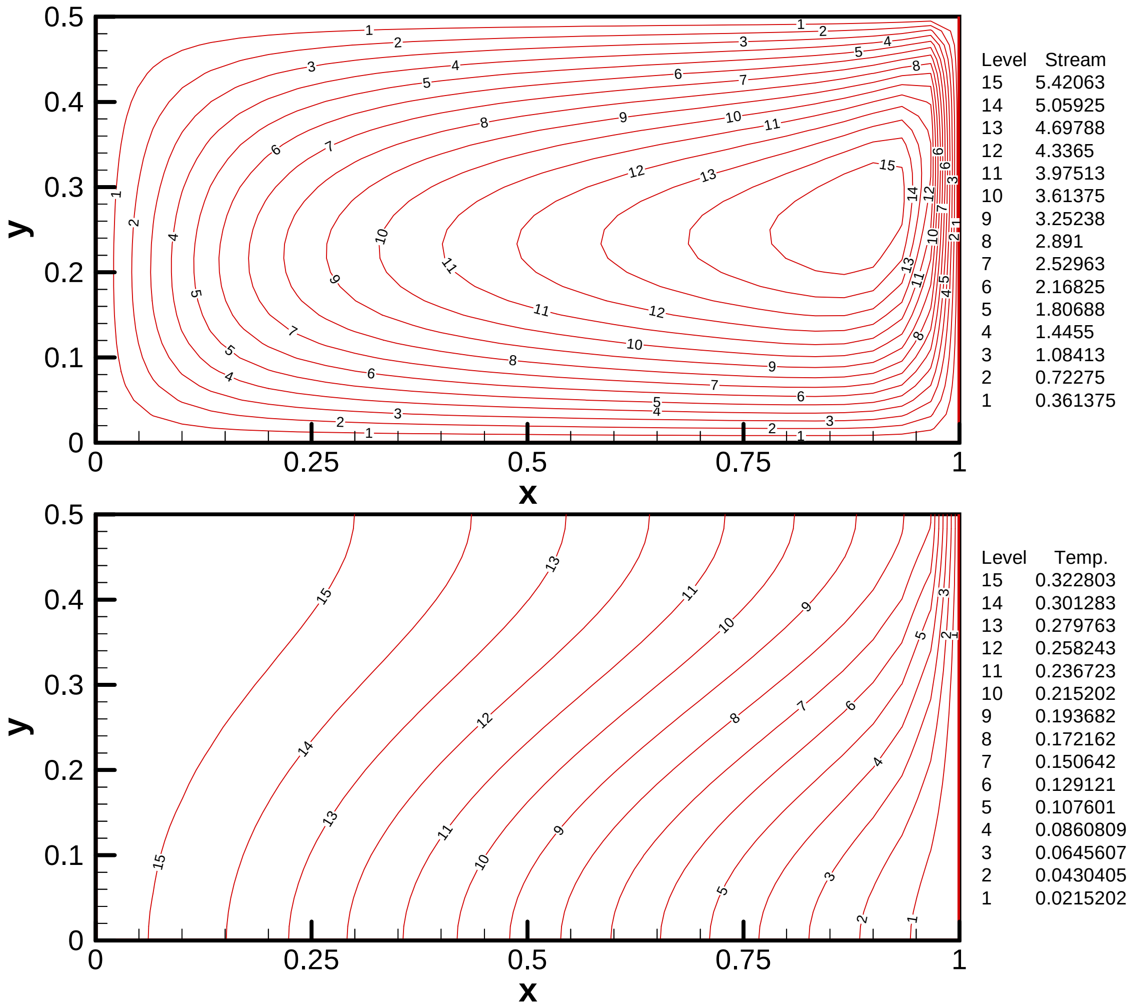
الشكل (4) اضمحلال قيمة اقصى درجة حرارة (θ_{max}) داخل الفجوة بتغير عدد رايلي (Ra) عند نسب باعية (A) مختلفة.



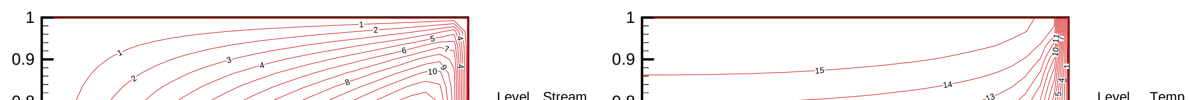
الشكل (5) تأثير كل من عدد رايلي (Ra) والنسبة الباعية (A) على متوسط عدد نسلت (Nu_m).

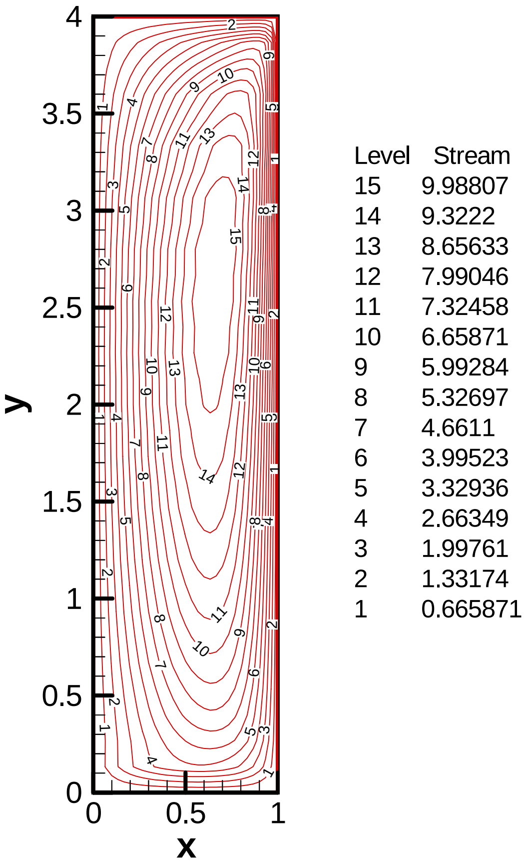


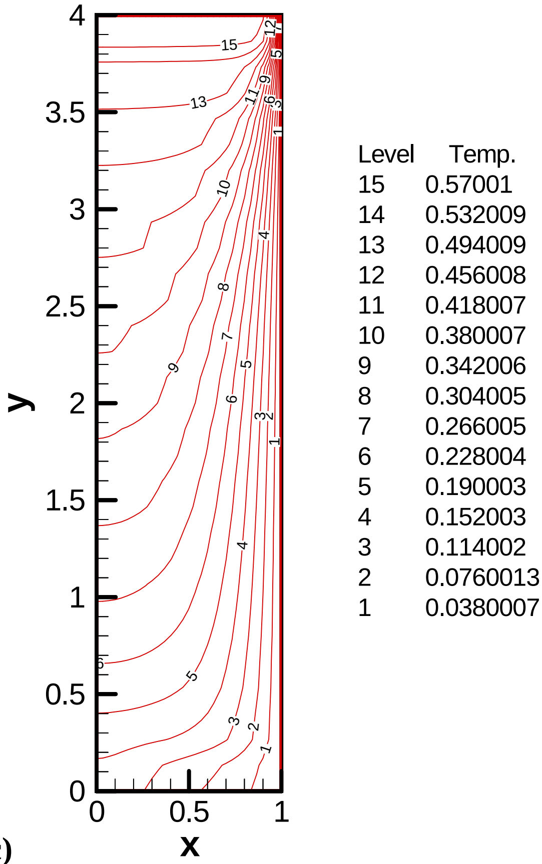
الشكل (6) تغير متوسط عدد نسلت (Nu_m) بتغير عدد رايلي (Ra) عند (A=1) و(A=10).



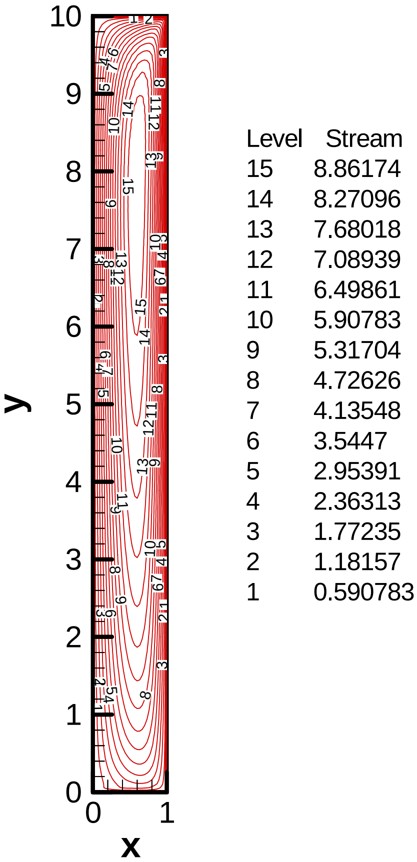
(a)

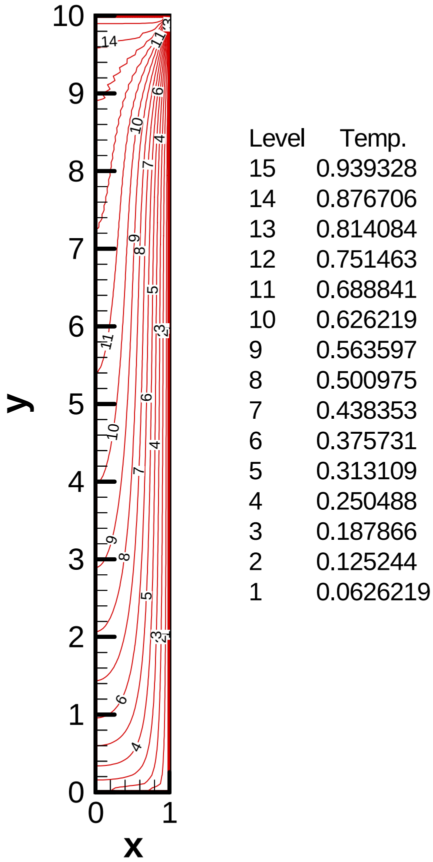



y
x
Level Stream
15 9.98807
14 9.3222
13 8.65633
12 7.99046
11 7.32458
10 6.65871
9 5.99284
8 5.32697
7 4.6611
6 3.99523
5 3.32936
4 2.66349
3 1.99761
2 1.33174
1 0.665871

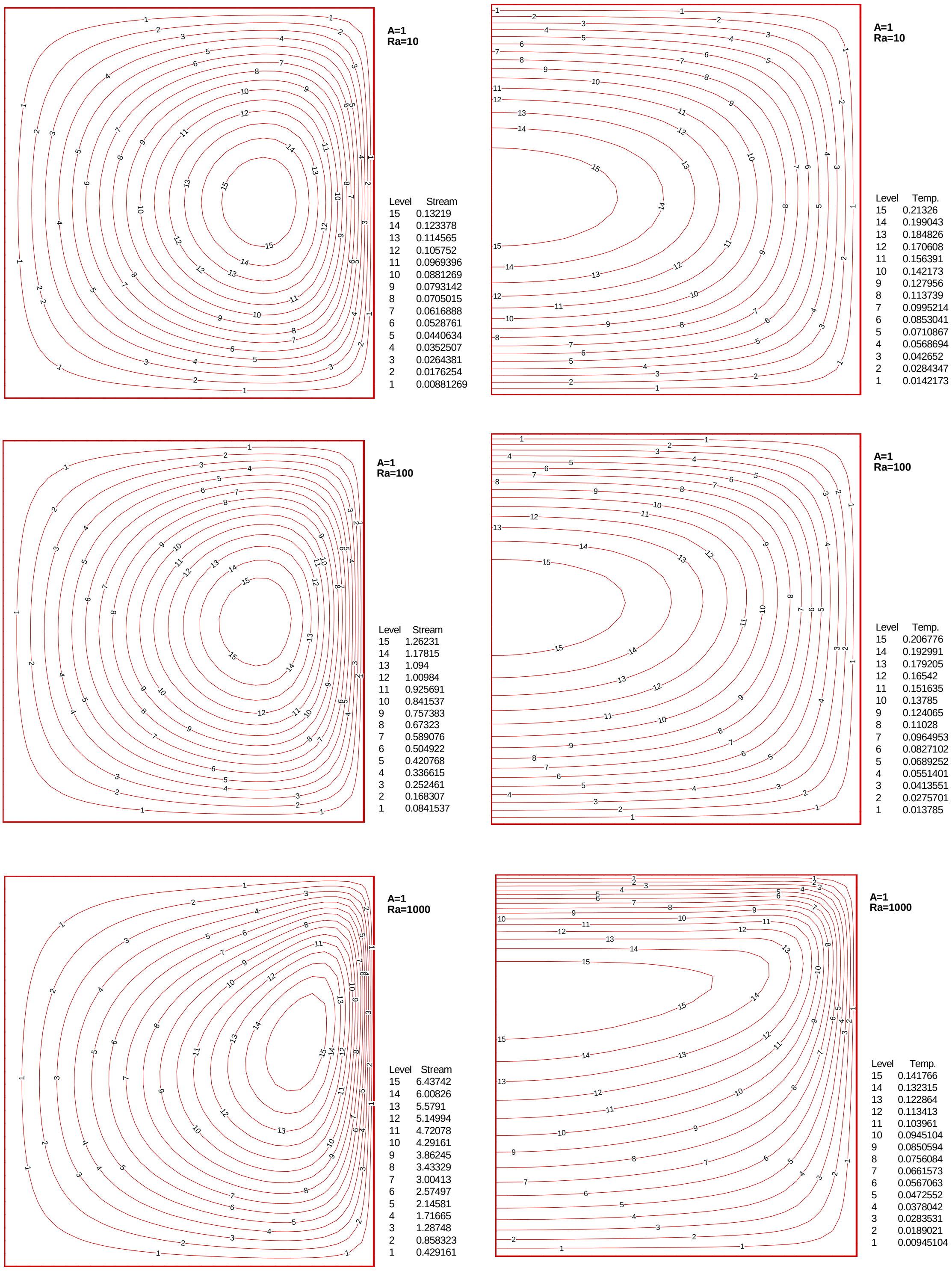

y
x
Level Temp.
15 0.57001
14 0.532009
13 0.494009
12 0.456008
11 0.418007
10 0.380007
9 0.342006
8 0.304005
7 0.266005
6 0.228004
5 0.190003
4 0.152003
3 0.114002
2 0.0760013
1 0.0380007

(c)

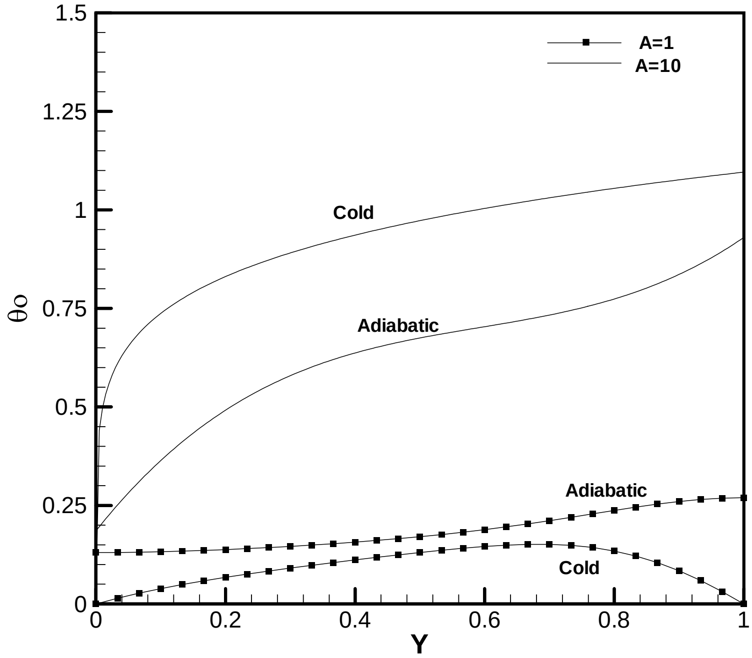

y
x
Level Stream
15 8.86174
14 8.27096
13 7.68018
12 7.08939
11 6.49861
10 5.90783
9 5.31704
8 4.72626
7 4.13548
6 3.5447
5 2.95391
4 2.36313
3 1.77235
2 1.18157
1 0.590783


y
x
Level Temp.
15 0.939328
14 0.876706
13 0.814084
12 0.751463
11 0.688841
10 0.626219
9 0.563597
8 0.500975
7 0.438353
6 0.375731
5 0.313109
4 0.250488
3 0.187866
2 0.125244
1 0.0626219

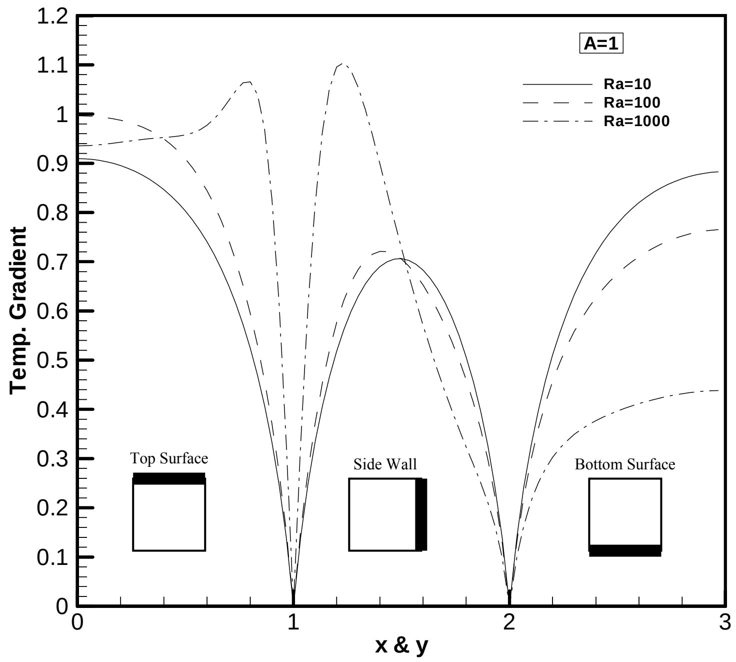
(d)



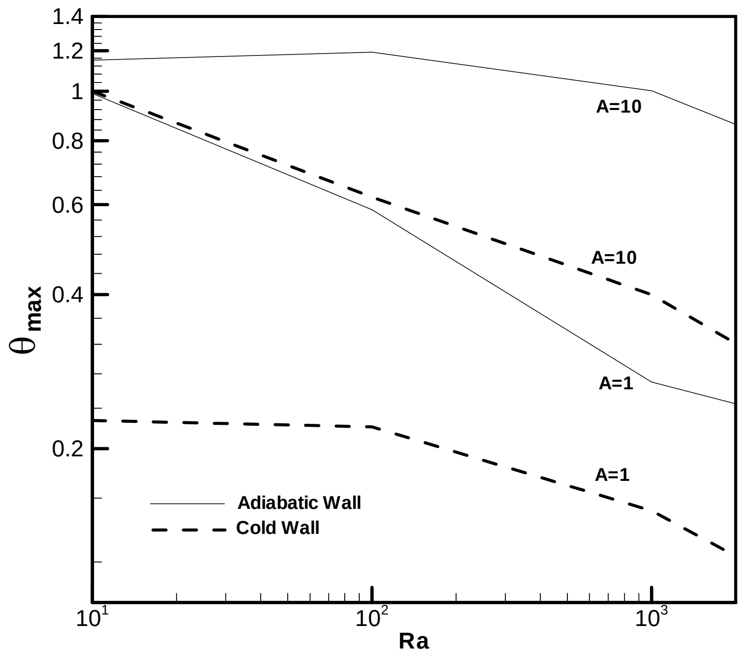
الشكل (8) تأثير زيادة عدد رايلي (Ra) على كل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة عندما تكون الجدران الافقية باردة (الحالة الثانية).



الشكل (10) تغير درجة الحرارة (θ_o) على طول خط التماثل (Symmetry Line) بتغير النسبة الباعية (A) ولكلا الحالتين عند (Ra=1000).



الشكل (9) انحدار درجة الحرارة على جدران الفجوة عند (A = 1) ولقيم مختلفة من (Ra) وعندما تكون الجدران الافقية باردة (الحالة الثانية).



الشكل (11) اضمحلال قيمة اقصى درجة حرارة (θ_{max}) داخل الفجوة بتغير عدد رايلي (Ra) عند (A= 1) و (A= 10) ولكلا الحالتين .