

دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر داخل فجوة مستطيلة مقسمة بحواجز

شعلان غنام عفلوك

ماجستير هندسة ميكانيكية

مدرس مساعداً

المستخلص

تم في هذا البحث دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر عددياً داخل فجوة مستطيلة مقسمة بحواجز موضوعة على الجدار العلوي والسفلي، إذ تم تغيير طول الحاجز وعدد رايلي والشروط الحدية لبيان تأثير هذه المتغيرات على انتقال الحرارة داخل الفجوة، تبين النتائج التي تم التوصل إليها إلى إن زيادة طول الحواجز داخل الفجوة يقلل من انتقال الحرارة، بينما تزداد قيم أعداد نسلت داخل الفجوة بزيادة عدد رايلي، إضافة إلى أن تغيير الشرط الحدي الخاص بالجدران العمودية (الحالة الأولى: الجدار الأيمن ساخن والأيسر بارد، الحالة الثانية: الجدار الأيمن بارد والأيسر ساخن)، يكون له تأثير في زيادة انتقال الحرارة في الحالة الثانية عندما يكون الجدار الأيسر ساخنًا، وبالمقارنة مع البحوث السابقة نلاحظ أنه كان هناك توافقاً جيداً فيما يخص قيم أعداد رايلي ونسلت.

Study of Natural Heat Transfer in Rectangular Cavity Divided by Barriers

Abstract

The present study deals with the possibility of natural heat transfer in rectangular cavity divided by barriers put on the top and bottom wall. The length of barrier and the number of Rayleigh, in addition to the boundary conditions, were changed to indicate the impact these variables on heat transfer inside the gap.

The results of the present study show that the increase in the length of barriers within the gap reduces heat transfer; while the values of Nusselt within the gap increase, as the number of Rayleigh increase.

Besides, changing the boundary condition specific of vertical walls (the first case: the right wall is hot and left is cold ; the second case: the right wall is cold and left is hot) has a considerable impact in increasing the heat transfer in the second case where the left wall is hot. In comparison with related studies. It can be seen that there is a good conformity as related the values of Rayleigh and Nusselt.

المقدمة

يعتبر موضوع انتقال الحرارة بالحمل والجريان داخل الفجوات المقسمة من المواضيع الهندسية التطبيقية الحديثة التي اهتم بها العديد من الباحثين والدارسين نظرا للتطبيقات الهندسية الكثيرة مثل تصميم المجمعات الشمسية والمفاعلات النووية وتبريد الأجهزة الالكترونية والمبادلات الحرارية، إضافة إلى استخدامها في تبريد وتدفئة الغرف والبنائيات لكونها تعطي مواصفات ذات النوعية العالية وان كلفة استخدامها اقل.

أن الخصائص الحرارية وديناميكية الحركة داخل الفجوات المقسمة تعتمد على الشكل الهندسي للفجوة وكذلك على الشروط الحدية المطبقة، لذلك نجد إن العديد من البحوث في هذا المجال أكدت على إمكانية الاستفادة من نوعية الشكل الهندسي وشروطه الحدية المصاحبة للتطبيق الهندسي الذي تمثله الحالة المدروسة. [2],[3]

أن انتقال الحرارة داخل الفجوات المستطيلة والتي تحتوي على حواجز يعتمد أساسا على الشروط الحدية حيث أكد البحث ومن خلال تغيير طول الحاجز وعدد رايلي إلى إن هناك إمكانية استخدام هذه المتغيرات والتي تساعد على زيادة انتقال الحرارة داخل هذه الفجوات.

هدف البحث:-

يهدف البحث إلى إمكانية استخدام أسلوب انتقال الحرارة بالحمل والجريان من خلال الفجوات المستطيلة والمقسمة بحواجز للاستفادة منها في التطبيقات الهندسية من خلال تصميم موديل فيزيائي والمعادلات الحاكمة والتغيير في الجدران لإمكانية انتقال الحرارة .

مشكلة البحث:-

تعتبر المواضيع والتطبيقات الهندسية الخاصة في عمليات انتقال الحرارة بالحمل والجريان داخل الفجوات المستطيلة والمقسمة بحواجز من التطبيقات الهندسية التي لاتزال نسبة استخدامها في العراق قليلة جدا لأنها ذات المردود الاقتصادي والكلفة الأقل في التنفيذ، وان النجاح الهائل الذي حققته هذه التقنية التي يمكن الاستفادة منها في التطبيقات الهندسية وذلك لإمكانيتها العالية في مجال عمليات التبريد في المباني.

أهمية البحث:-

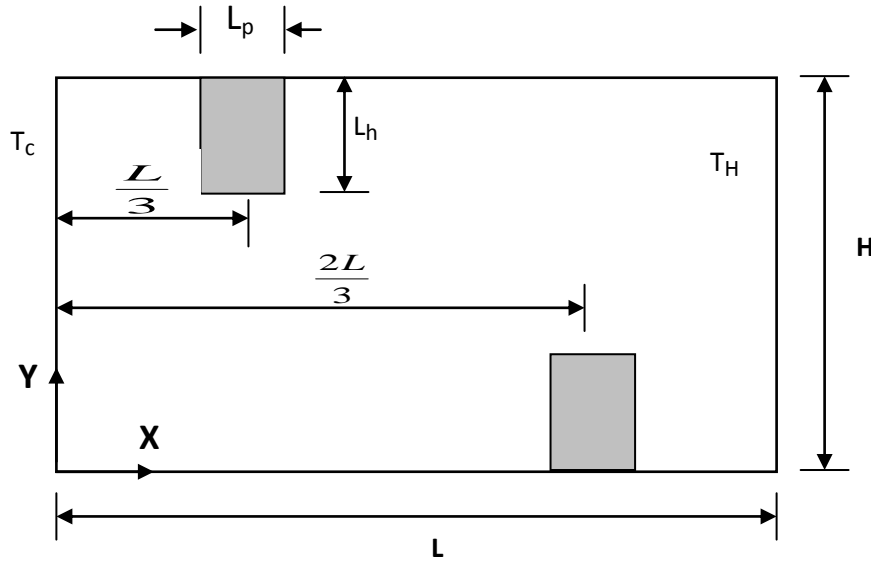
أن التطبيقات الهندسية الحديثة للفجوات المستطيلة والمقسمة بحواجز والمستخدم في انتقال الحرارة والتي تم تطبيقها في معظم دول العالم للاستفادة منها في تكنولوجيا التبريد لأنها ذات إنتاجية عالية من حيث التبريد والتدفئة وهذا مؤشر على إمكانية التطبيق لهذه الدراسة في العراق.

الموديل الفيزيائي والمعادلات الحاكمة:-

في الدراسة الحالية تم استخدام انتقال الحرارة بالحمل الحر داخل فجوة مستطيلة تحوي حاجزين على الجدار العلوي والسفلي موضوعين بشكل غير متقابل، الجدار العمودي الأيمن تم اعتباره ساخنا بينما الجدار المقابل له تم فرضه باردا (الحالة الأولى)، والحواجز تم اعتبارها اديباتيكية وبأطوال مختلفة لمعرفة تأثير الطول على نسبة انتقال الحرارة كذلك تم

تغيير قيم أعداد رايلى لمعرفة التأثير المصاحب لهذا التغيير على أعداد نسلت، أخيراً تم تغيير الشرط الحدي الخاص بالجدران العمودية بحيث تصبح معاكسة للحالة الأولى لبيان تأثير هذه الحالة.

الشكل (1) يمثل الموديل الفيزيائي المستخدم في هذا البحث والمتمثل بالفجوة المستطيلة وبداخلها الحواجز المتدلية من الجدارين العلوي والسفلي مع توضيح الشروط الحدية ونظام الإحداثيات المستخدم في الدراسة.



شكل (1) . الموديل الفيزيائي ونظام الإحداثيات المستخدم.

كما هو واضح من الشكل الجدار الأيمن العمودي بدرجة حرارة (T_H) أعلى من الجدار العمودي الأيسر المقابل هو بدرجة حرارة (T_C).

الجدارين العلوي والسفلي تم فرضهما اديباتيكيًا يحتويان على حواجز متغيرة الطول. الحاجز العلوي يبتعد عن الجدار الأيسر بمسافة أفقية مقدارها ($L/3$) أما الحاجز السفلي فيبتعد عن نقطة الأصل بمقدار ($2L/3$). سمك الحاجز هو ($L_p=0.1m$) بينما يتم تغيير طول الحاجز (L_h) نسبة إلى طول الفجوة (H) حسب القيم ($L_h=0.25, 0.5, 0.75$) لبيان تأثير هذه الأطوال على انتقال الحرارة، كذلك تم تغيير أعداد رايلى ($Ra=10^3-10^6$) لدراسة تأثير زيادة عدد رايلى على انتقال الحرارة داخل الفجوة بوجود الحواجز. طول الفجوة مساوي إلى (L) وهو بمقدار ضعف الارتفاع (H). المعادلات الحاكمة للجريان وانتقال الحرارة هي معادلات الكتلة، والزخم، والطاقة. تم فرض إن الجريان إطباقى، مستقر، ثنائي البعد. كذلك تم فرض خواص المائع ثابتة. بالاعتماد على الفرضيات أعلاه فان المعادلات التي تصف الجريان وانتقال الحرارة يمكن كتابتها بالشكل اللابعدي كالتالي:-

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad \text{-----(1)}$$

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad \text{-----(2)}$$

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + \frac{Ra \theta}{Pr} \quad \text{-----(3)}$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{1}{Pr} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad \text{-----(4)}$$

حيث إن المعادلة (1) تمثل معادلة الاستمرارية والمعادلات (2,3) يمثلان معادلات الزخم ببعدين بينما المعادلة رقم (4) تمثل معادلة الطاقة. تم اعتماد الصيغ اللابعدية في المعادلات أعلاه وكالتالي:-

$$X = \frac{x}{L}, Y = \frac{y}{L}, U = \frac{uL}{\alpha}, V = \frac{vL}{\alpha}$$

$$P = \frac{\rho L^2}{\rho \alpha^2}, \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, Pr = \frac{\nu}{\alpha}, Ra = \frac{g\beta(T_h - T_c)L^3}{\nu^2}$$

حيث إن (α) تمثل الانتشارية الحرارية، (Pr) هو عدد برانتل بينما (Ra) يمثل عدد رايلي. أما بالنسبة إلى الشروط الحدية الخاصة بالدراسة فإنه تم الاعتماد على الشروط الحدية الآتية:-

$$* X = 0 ; \text{any } Y$$

$$U = V = 0 ; \theta = 0$$

$$* X = L ; \text{any } Y$$

$$U = V = 0 ; \theta = 1$$

$$* \left. \begin{array}{l} Y = 0 \\ Y = H \end{array} \right\} \text{any } X$$

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial X} \right) = 0$$

الدراسات السابقة

تناولت كثير من الدراسات موضوع انتقال الحرارة بالحمل داخل فجوات مقسمة بالحواجز في مختلف دول العالم. تعتبر دراسة (Dagtekin & oztop) والخاصة بانتقال الحرارة بالحمل والجريان داخل فجوة مقسمة بحاجزين مستقلين عددياً، الجدار السفلي والعمودي الأيمن تم اعتبارهما ادبياتين بينما الجدران العلوي واليسر ذات درجة حرارة قليلة ولكن منتظمة وان تأثير مواقع الحواجز وارتفاعها على انتقال الحرارة وجريان المائع تم دراسته عددياً. توصل الباحثان إلى أن زيادة ارتفاع الحواجز والمسافة بينهما وكذلك زيادة عدد رايلي يؤدي إلى زيادة معدل انتقال الحرارة. [1]

ويؤكد (Nienchuon & Bejan) خلال دراسة تحليلية وتجريبية لظاهرة انتقال الحرارة بالحمل داخل فجوة مقسمة بحواجز، تم فرض وجود الحواجز على الجدار الأسفل للفجوة ودراسة انتقال الحرارة وإجراء تصوير للجريان عند أعداد رايلي تتراوح من (10^9) إلى (10^{10}) عند نسبة الفتحة الداخلية (عند أعلى الحاجز) إلى ارتفاع الفجوة مساوية إلى $(1, 1/4, 1/8, 0,1/16)$ تم التوصل إلى تقليل نسبة الارتفاع (من واحد إلى القيمة صفر)، إن قيمة عدد نسلت تقل بمقدار القيمة (15). [2]

يشير (Chen et.al) من خلال إجراء دراسة تحليلية وتجريبية لانتقال الحرارة بالحمل داخل فجوات مستطيلة مقسمة بحواجز بوجود وعدم وجود فتحات في الحواجز داخل فجوة ذات نسبة عرض إلى ارتفاع بقيمة (2) وبنسبة ارتفاع الحاجز إلى ارتفاع الفجوة مساوي $(1/2)$ مع نسبة الفتحة إلى ارتفاع الحاجز مساوي إلى $(1/4, 1/8, 0)$ ، تم فرض ان الحاجز ادبياتي موضوع بصورة عمودية، الحصول على علاقة لعدد نسلت تبين ان نسبة انتقال الحرارة تزداد مع ازدياد عدد رايلي او زيادة نسبة الفتحة الموجود في الحاجز. [3]

ويبين (Acharya S. & Jetli R.) من خلال دراسة مفصلة لانتقال الحرارة بالحمل داخل فجوة مربعة بوجود حواجز ادبياتية ممتدة على الجدار السفلي والعلوي للفجوة. قام الباحثان بإجراء دراسة عددية عند إعداد رايلي من (10^4) إلى (10^8) ، كذلك تم حساب التأثير الحراري للإشعاع في الدراسة واعتبار الجدار الأيمن للفجوة هو الجدار الساخن والجدار المقابل له (الجدار الأيسر) بارداً. أن الزيادة في أعداد رايلي تسبب زيادة في انتقال الحرارة وهذا يؤكد العلاقة الطردية بينهما. (4)

أما (Scozia and Frederick) وجد الباحثان من خلال دراسة انتقال الحرارة بالحمل داخل فجوة مستطيلة عمودية بوجود عدة حواجز موضوعة على احد الجدران الفعالة عددية، إن انتقال الحرارة يزداد بزيادة عدد الحواجز وطولها عند أعداد رايلي القليلة. [5]

الجانب العملي

تم استخدام تقنية الحجم المحددة في البحث والتي تجمع بين خواص الخوارزمية مع (semi- implicit method for pressure linked equations) وتلك الخاصية بحل الضغط مع إجراء التصحيح لكل مجال الجريان [6].

أن الفكرة الأساسية للخوارزمية (Simple algorithm) هي:-

- 1- وجود ربط بين الخلية المركزية الخاصة بحل الضغط في حجم التحكم مع وجه الخلية الخاصة بحل السرعة داخل المعادلات المنفصلة في معادلات الزخم.
- 2- إجراء تمثيل خاص لتصحيح الضغط لتحقيق معادلة الاستمرارية.

3- إجراء عملية تصحيح للسرعة والضغط لمجال الحل [6].

المعادلة العامة والتي يجب حلها للحصول على النتائج المطلوبة يمكن كتابتها كالتالي:-

$$\left(\sum A_i - S_p\right)\phi_p = \sum (A_i\phi_i) + S_u \quad \text{----- (5)}$$

حيث إن:-

(ϕ) هو متغير عام بحيث انه

$$\begin{aligned} \phi = 1 & \quad \text{(حينها تمثل المعادلة (5) معادلة الاستمرارية)} \\ \phi = U, V & \quad \text{(تصحيح المعادلة (5) تمثل معادلات الزخم)} \\ \phi = \theta & \quad \text{(تصحيح المعادلة (5) تمثل معادلات الطاقة)} \end{aligned}$$

المعادلة رقم (5) تم حلها للحصول على مركبات السرعة بالبعدين (x , y) على التوالي. كذلك للحصول على درجات الحرارة داخل مجال الجريان وأخيرا تم الحصول على قيمة الضغط وتصحيحه لكل عقدة من شبكة العقد الخاصة والمستخدم في المجال. لإجراء ذلك تم بناء برنامج حاسوبي بلغة (Fortran90) لإجراء الحسابات وبصورة تكرارية مع عامل إرخاء مساوي إلى (0.5)، والخطوات التكرارية للحل تم إعادتها لحين الحصول على معيار تقارب مساوي إلى (10⁻⁵). [7].

تم الحصول على توزيع انتقال الحرارة الموقعي (Nusselt number) والذي يعرف بأنه نسبة شدة الفيض الحراري المتبادل بالحمل إلى شدة الفيض الحراري المتبادل بالتوصيل خلال طبقات المائع والذي يمكن تعريفه بالمعادلة :-

$$N_u = \frac{\partial\theta}{\partial X}\bigg|_{X=L} \quad \text{----- (6)}$$

بينما عدد نسلت الكلي يتم الحصول عليه من خلال تكامل القيم الموقعية لعدد نسلت أو يمكن حسابه من المعادلة :-

$$\bar{N}_u = \frac{1}{L} \int_0^L \frac{\partial\theta}{\partial X}\bigg|_{X=L} dY \quad \text{----- (7)}$$

النتائج والمناقشة

تم في هذا البحث إجراء دراسة عددية لانتقال الحرارة بالحمل الحر داخل فجوة مستطيلة تحوي حواجز عمودية متخالفة متغيرة الطول. لبيان تأثير طول الحواجز ثم تغيير الطول (Lh= 0.25, 0.5 , 0.75) نسبة إلى طول الفجوة (H) كذلك تم دراسة تأثير عدد رايلي (Ra) على انتقال الحرارة داخل الفجوة المستطيلة.

1- مقارنة نتائج البحث الحالي فيما يخص انتقال الحرارة بالحمل داخل الفجوة المستطيلة بوجود الحواجز مع نتائج باحثين آخرين ووجد ان التوافق جيد بين كلا النتيجتين، حيث نلاحظ من الشكل (2) تغير عدد نسلت الكلي مع زيادة عدد رايلي وبنسبة خطأ لا تتجاوز (1%).

2- الشكل (3) يبين تأثير زيادة طول الحاجز (Lh) على دالة الانسياب ودرجات الحرارة داخل الفجوة المستطيلة عند (10^3) وكما تم ذكره سابقا فان الجدار الأيمن له درجة حرارة مساوية إلى (T_H) بينما (T_C) تمثل درجة حرارة الجدار الأيسر. نلاحظ من الشكل انه بزيادة طول الحواجز فان الترافص الموجود في خطوط دوال الانسياب بالقرب من الجدران العمودية يقل وتتحول الدوامات المركزية غير المنتظمة إلى دوائر مركزية تدور باتجاهين مختلفين. كذلك تقل حركة المائع بزيادة طول الحاجز من المنطقة المحصورة بينهما. أما درجات الحرارة فأنها تتأثر بزيادة طول الحواجز، حيث يقل انحدار درجة الحرارة بالقرب من الجدران العمودية وينتقل إلى المنطقة المحصورة بين الحواجز بزيادة طولها، حيث نلاحظ ان خطوط درجات الحرارة تقترب من إنها تكون خطوط مستقيمة أفقية في المنطقة المحصورة بين الحواجز كما هو مبين بالشكل (3-f).

3- بزيادة عدد رايلي إلى $(Ra=10^4)$ فأننا نلاحظ ان الترافص الموجود بالقرب من الجدران العمودية في كل من درجات الحرارة وخطوط دالة الانسياب يقل مقارنة بالشكل السابق (شكل 3) وكما هو واضح بالشكل (4). تزداد حركة المائع في المنطقة المحصورة بين الحواجز بزيادة عدد رايلي إلى $(Ra=10^4)$ بينما نلاحظ نفس التصرف السابق عند زيادة طول الحواجز، حيث تقل سرعة جريان المائع في المنطقة المحصورة بين الحواجز عند زيادة طولها الشكل (4-a, 4-c, 4-e)، عند عدد رايلي $(Ra=10^4)$ فان تأثير وجود الحواجز داخل الفجوة يكون واضح حيث تتوزع خطوط ثبوت درجات الحرارة حولها.

4- بزيادة عدد رايلي $(Ra=10^5)$ فان السرعة تزداد في المنطقة الموجودة بين الحواجز مكونة دوامتين إضافيتين (شكل 5-e) لذلك نلاحظ وجود اربع دوامات في الشكل أعلاه، كذلك نلاحظ توزيع درجات الحرارة حول الحواجز وحركة خطوط درجات الحرارة نحو الحواجز بزيادة طولها كما هو موضح في الأشكال (5-b, 5-d, 5-f).

5- عند زيادة عدد رايلي $(Ra=10^6)$ كما في الشكل (6) فان ذلك يؤدي الى منطقة ذات دوامة مركزية واحدة الشكل (6-a) تتحول تدريجيا بزيادة طول الحاجز إلى منطقة ذات ثلاث دوامات مركزية دلالة على زيادة حركة المائع داخل الفجوة، كذلك نلاحظ سيطرت الحواجز على توزيع درجات الحرارة داخل الفجوة خصوصا عند زيادة طولها كما هو واضح في الأشكال (6-b, 6-d, 6-f).

6- الشكل (7) يبين تأثير تغيير طول الحواجز وزيادة عدد رايلي على انتقال الحرارة (عدد نسلت الموقعي) داخل الفجوة نلاحظ انه عند عدد رايلي $(Ra=10^3)$ فان انتقال الحرارة يقل بزيادة الارتفاع العمودي (y) عند $(Lh=0.25)$ بينما يزداد ولكن بقيم متفاوتة عند زيادة طول الحواجز كما هو واضح بالشكل (7-a)، وتفسير ذلك هو تقليل الترافص الموجود بالقرب من الجدران عند زيادة طول الحواجز. بزيادة عدد رايلي نلاحظ ان قيم نسلت تقل على طول المحور العمودي (y) بزيادة طول الحواجز كما هو واضح بالشكل (7-b) ماعدا زيادة طفيفة عند $(Lh=0.75)$ ، نفس التصرف يتكرر بزيادة عدد رايلي لكن بقيم اكبر لأعداد نسلت.

7- الشكل (8) يبين تأثير زيادة عدد رايلي على انتقال الحرارة الكلي داخل الفجوة المستطيلة عند الشروط الحدية الاعتيادية (الجدار العمودي الأيمن ساخن والجدار العمودي الأيسر بارد) (RWH) وعند الشروط الحدية المعاكسة (الجدار الأيمن بارد والجدار الأيسر ساخن) (LWH) بصورة عامة فان زيادة عدد رايلي تؤدي إلى زيادة أعداد نسلت الكلية وبالتالي زيادة انتقال الحرارة بالحمل داخل الفجوة. لكن الشيء المثير للانتباه هو قيمة عدد نسلت عند تغيير الشرط الحدي

الخاص بالجدران العمودية، نلاحظ زيادة في أعداد نسلت الكلية وعند كل الأطوال الخاصة بالحواجز عند تغيير الشرط الحدي الخاص بدرجة حرارة الجدران العمودية. نستنتج إن وجود حاجز على الجدار العلوي بالقرب من جدار ساخن (في حالة فرض إن الجدار الأيسر هو الساخن) يؤدي إلى زيادة انتقال الحرارة داخل الفجوة المستطيلة.

الاستنتاجات

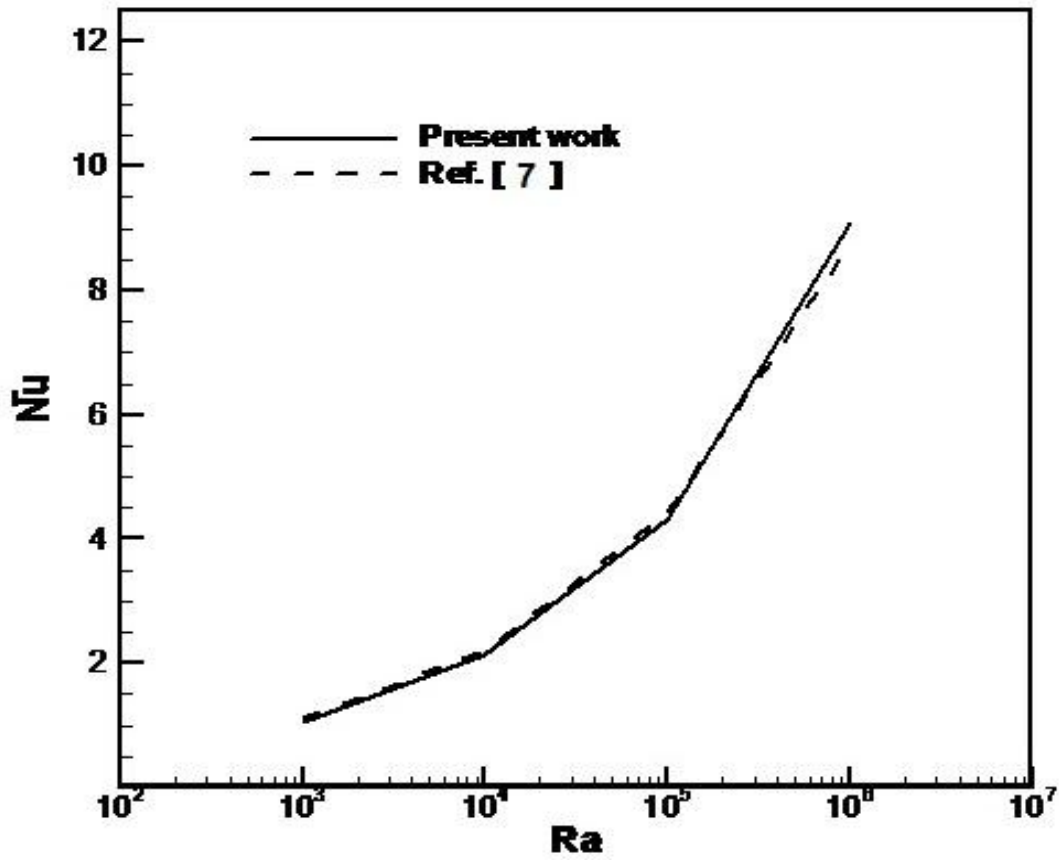
- 1- زيادة في طول الحواجز تؤدي إلى توليد جريان ذو دوامات منتظمة على جانبي الحواجز والتي تساعد على زيادة انتقال الحرارة.
- 2- زيادة طول الحواجز تؤدي إلى تقليل التراصف الموجود في خطوط درجات الحرارة وهذا يساعد على اختراق هذه الخطوط داخل المنطقة الداخلية للفجوة مما يسبب في زيادة عدد رايلي .
- 3- زيادة طول الحواجز يقلل من انتقال الحرارة على الجدران العمودية.
- 4- أن مقدار الزيادة في عدد رايلي يؤدي إلى زيادة انتقال الحرارة بالحمل الحر داخل الفجوة المستطيلة المقسمة بحواجز.
- 5- إن تغيير الشروط الحدية خلال العمل كان له تأثير كبير على انتقال الحرارة في داخل الفجوة المستطيلة المقسمة بحواجز.

المصادر:-

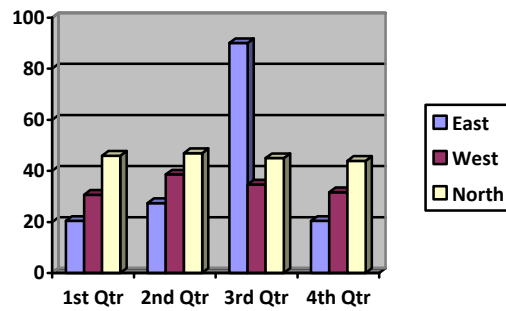
- [1] Dagtekin I , Oztop HF, :*“Natural convection heat transfer by heated partitions within enclosure”* International com, Heat Transfer . vol. 28. pp.(823-834). 2001.
- [2] Nienchuan NL , Bejan A, :*“Natural convection in a partially divided enclosure”*, Int. J. of Heat Transfer. vol. 26, pp. (1867-1878). 1983.
- [3] Chen KS& Ku AC& Chou CH ,: *“Investigation of natural convection in partially divided rectangular enclosures both with and without an opening in the partition plate: measurement results”*, J. Heat Transfer. vol. 112. pp. (648-652). 1990.
- [4] Acharya S , Jetli R, :*“Heat transfer due to buoyancy in a partially divided square box”*, Int. J Heat Mass Transfer. vol. 33, pp. (931–942).1990.
- [5] Scozia R , Frederich RL , :*“Natural convection in slender cavities with multiple fins attached to an active wall”*, Numerical Heat Transfer Part .A. 20. pp. (127–158). 1991.
- [6] Patankar SV, :*“Numerical heat transfer and fluid flow”*, Hemisphere Pub. Corp. New York. 1980.
- [7] N. C. markatos and K. A. Pericleous,: *“Laminar and turbulent natural convection in an enclosed cavity”*, Int. j. Heat mass transfer. vol.27. No. 5. pp. (755-772). 1984.

قائمة الرموز

الرمز	المعنى	الوحدات
g	التعجيل الأرضي	m/s ²
H	ارتفاع الفجوة	m
L	طول الفجوة	m
Lh	طول الحاجز	m
Lp	سمك الحاجز	m
LWH	الجدار الأيسر ساخن	
Nu	عدد نسلت	
p	الضغط	N/m ²
P	الضغط اللابيدي	
Pr	عدد برانتل	
Ra	عدد رايلي	
RWH	الجدار الأيمن ساخن	
Su	حد المصدر (معادلة 5)	
T _C	درجة الحرارة الباردة (منخفضة)	°C
T _H	درجة الحرارة الساخنة (مرتفعة)	°C
u,v	مركبات السرعة	m/s
U,V	السرعة اللابيدية	
x,y	الإحداثيات الكارتيزية	m
X,Y	الإحداثيات الكارتيزية اللابيدية	
α	الانتشارية الحرارية	
γ	اللزوجة الكينماتية	γ
θ	درجة الحرارة اللابيدية	
Φ	متغير عام (معادلة 5)	



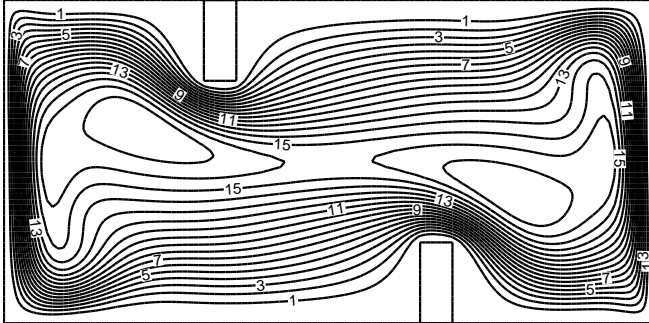
شكل (2) . مقارنة نتائج البحث الحالي مع المصدر [7] .



$$Ra = 10^3$$

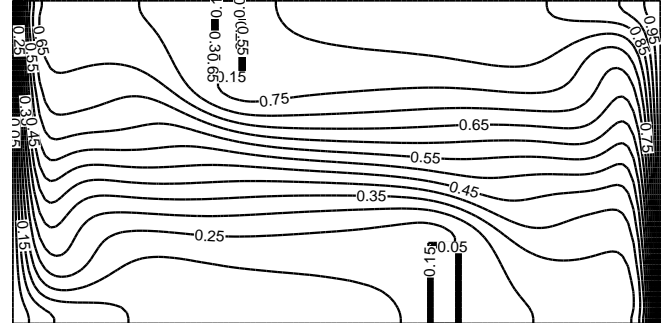
Stream

Temp.

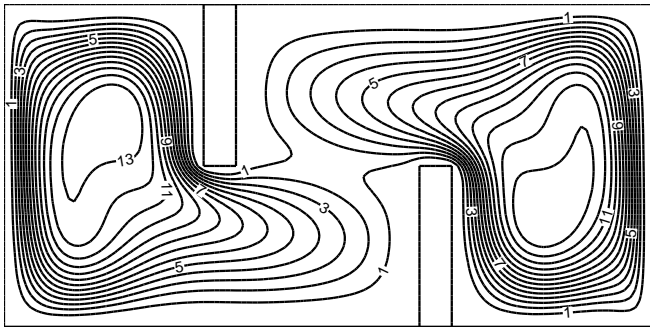


a

Lh=0.25

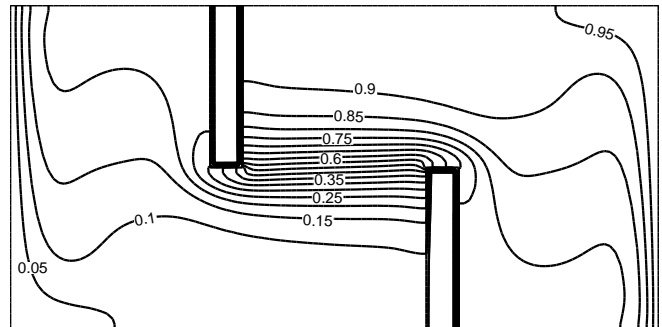


b

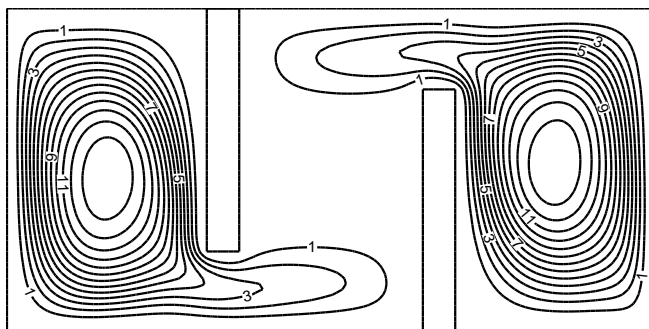


c

Lh=0.5

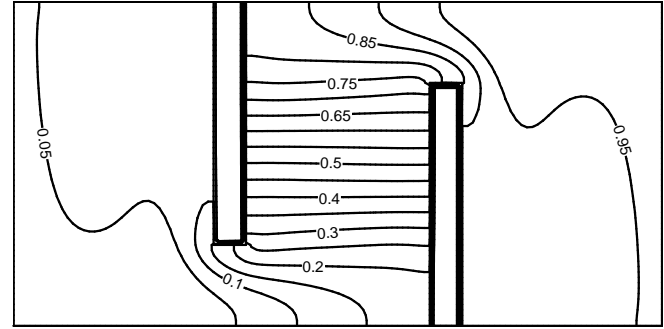


d



e

Lh=0.75



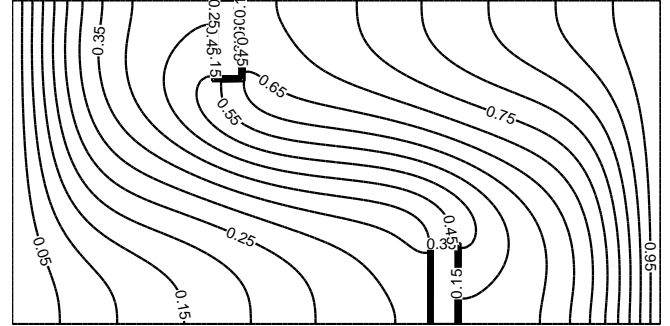
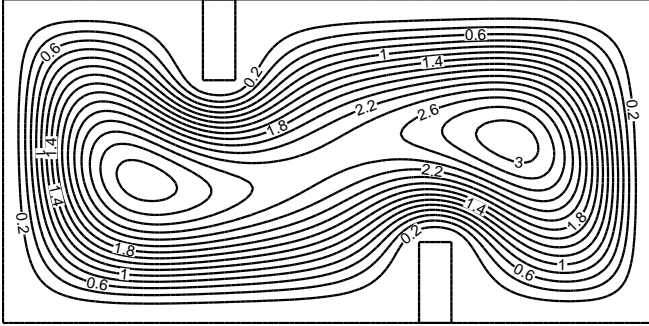
f

شكل (3) تأثير زيادة طول الحواجز على كل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة عند ($Ra = 10^3$).

$$Ra = 10^4$$

Stream

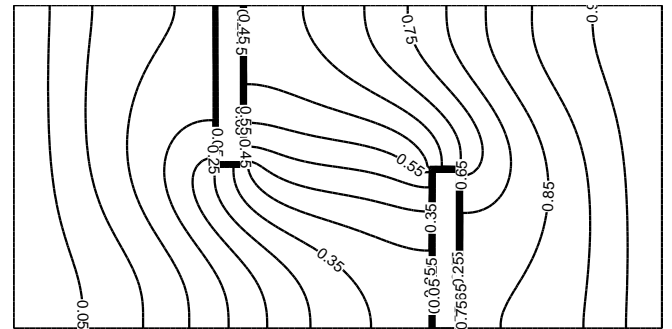
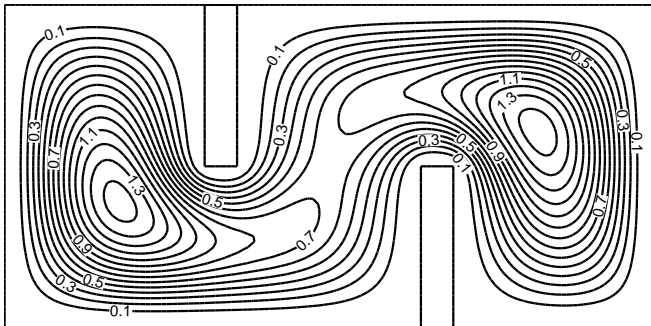
Temp.



a

$Lh=0.25$

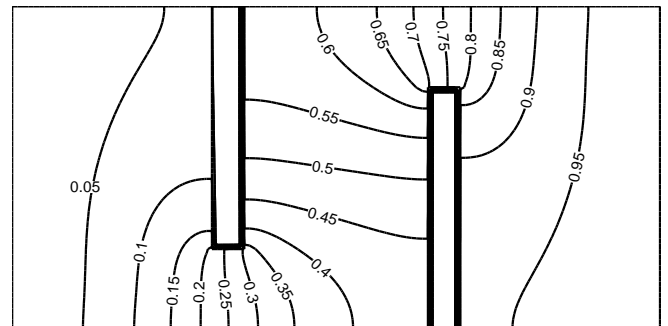
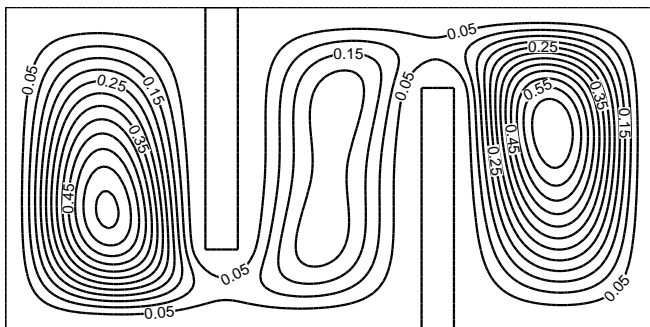
b



c

$Lh=0.5$

d



e

$Lh=0.75$

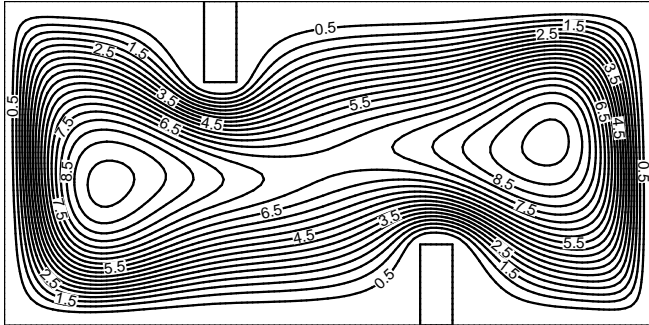
f

شكل (4) تأثير زيادة طول الحواجز على كل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة عند $(Ra = 10^4)$.

$$Ra = 10^5$$

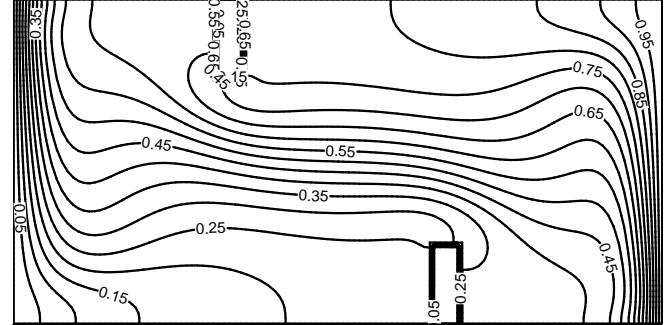
Stream

Temp.

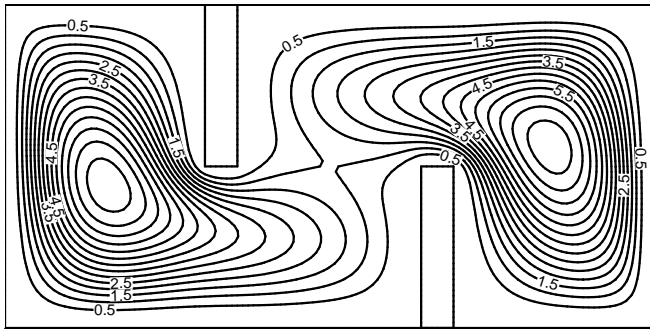


a

Lh=0.25

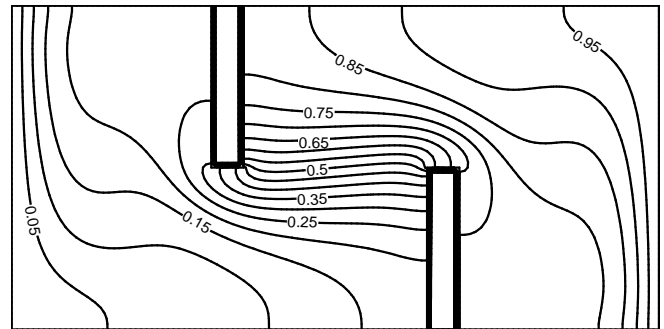


b

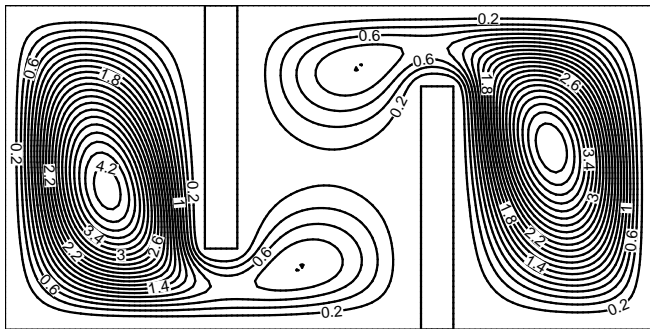


c

Lh=0.5

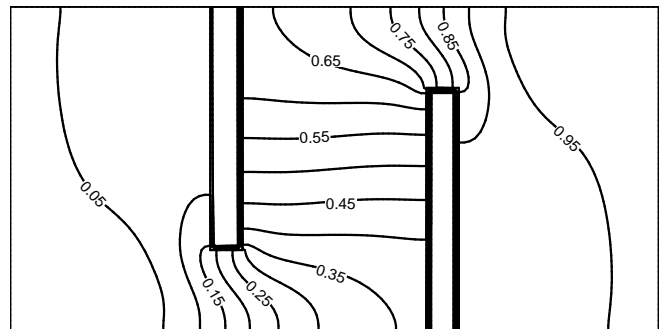


d



e

Lh=0.75



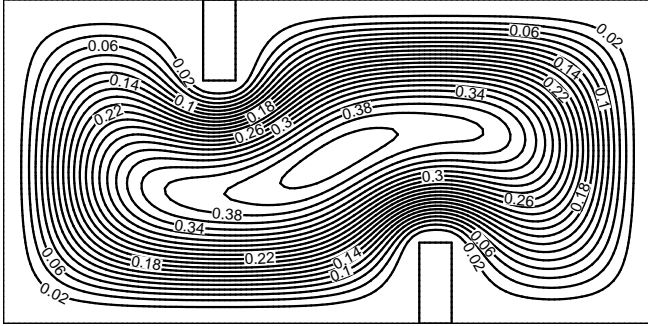
f

شكل (5) تأثير زيادة طول الحواجز على كل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة عند ($Ra=10^5$).

$$Ra = 10^6$$

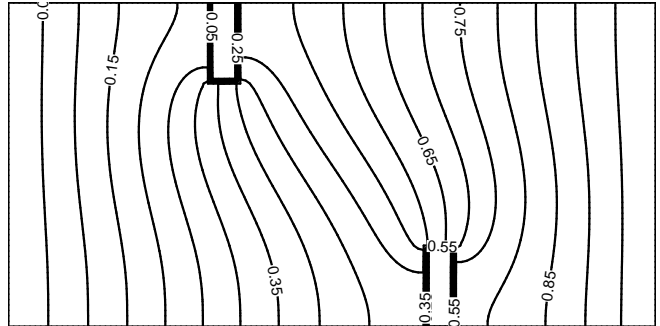
Stream

Temp.

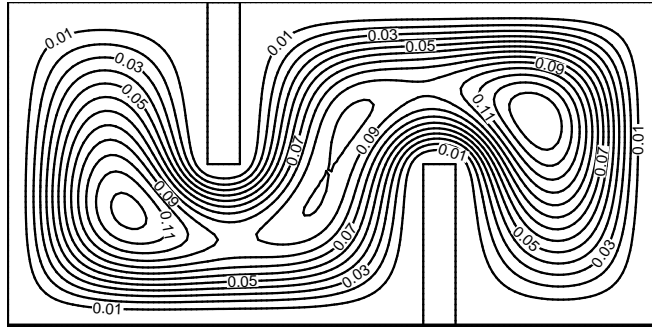


a

Lh=0.25

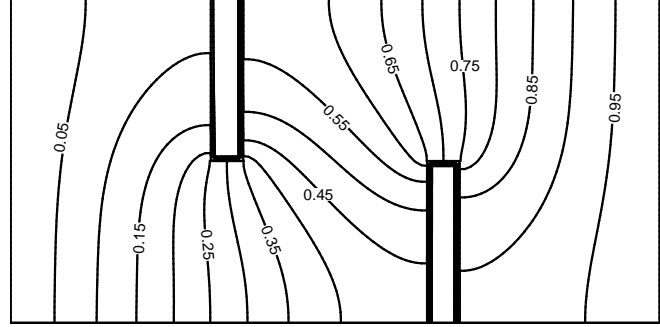


b

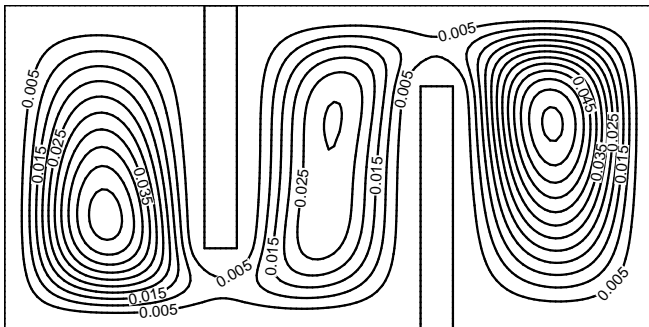


c

Lh=0.5

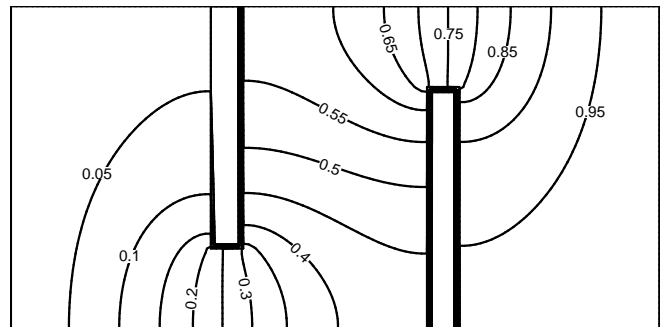


d



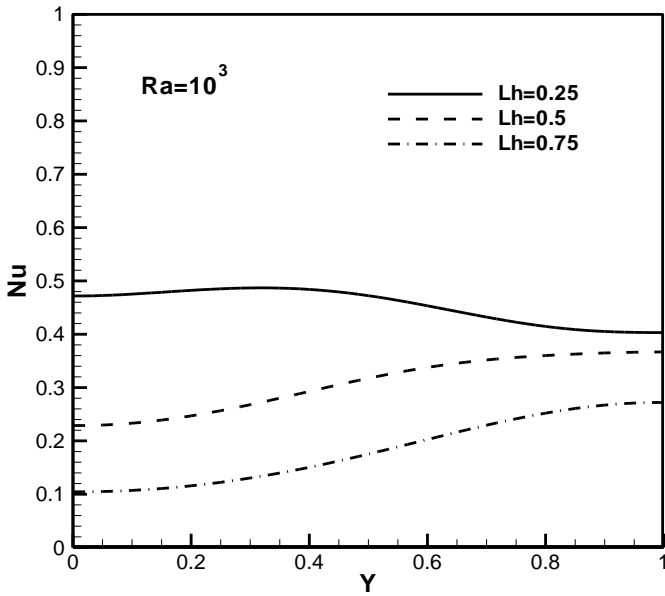
e

Lh=0.75

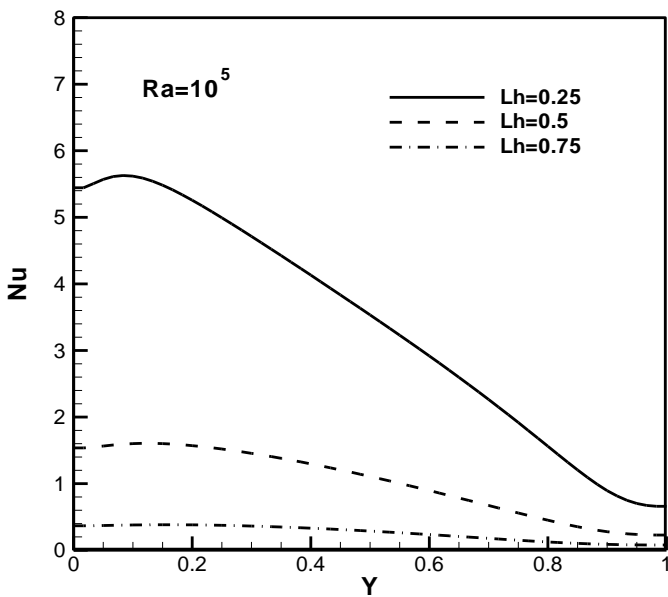
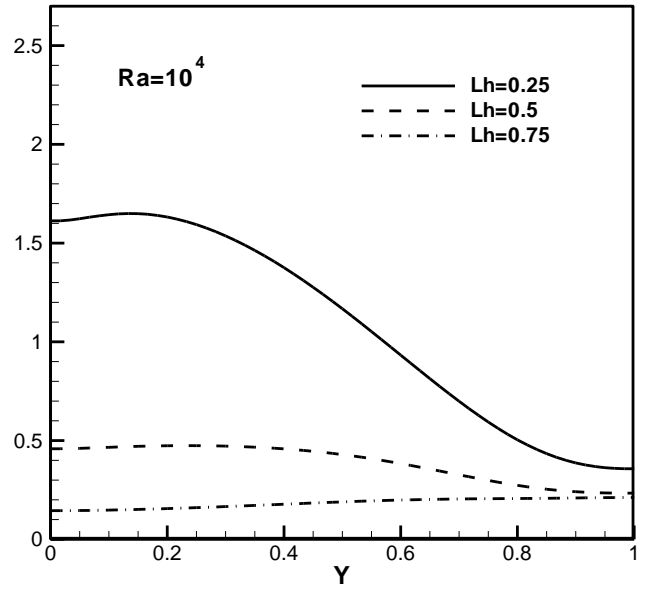


f

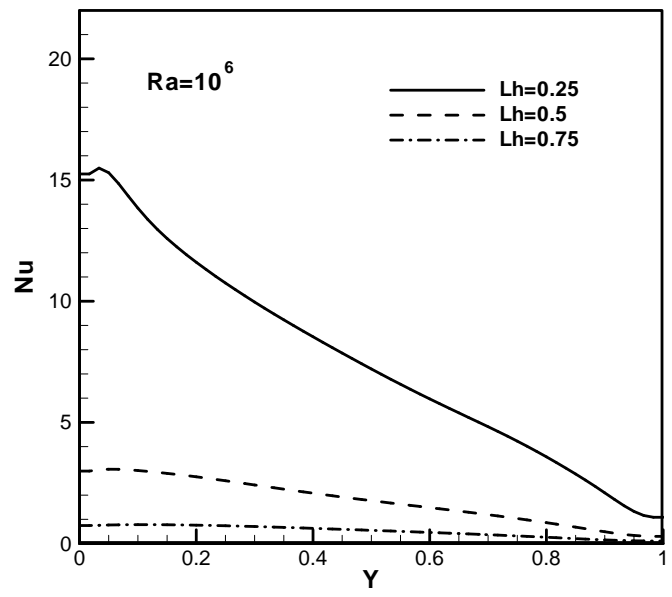
شكل (6) تأثير زيادة طول الحواجز على كل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة عند ($Ra = 10^6$).



a

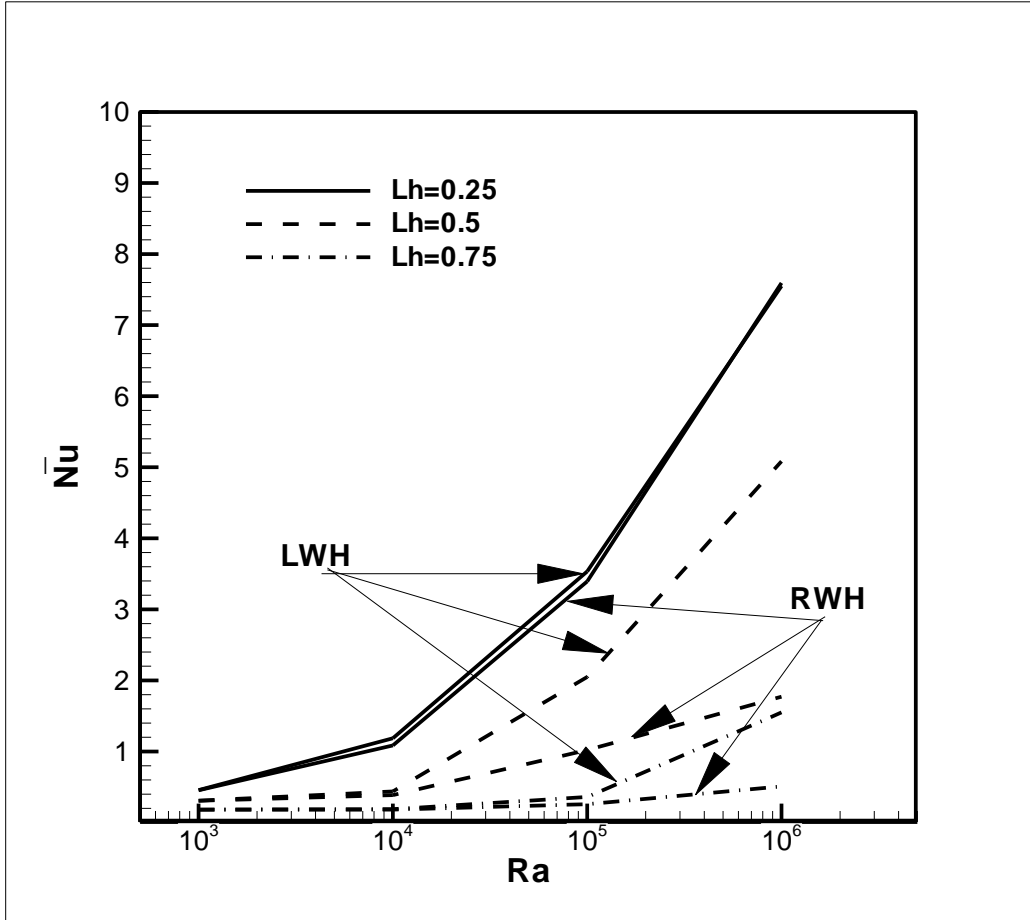


c



d

شكل (7) تأثير طول الحواجز وعدد رايلي على عدد نسلت الموضعي داخل الفجوة.



شكل (8) تأثير عدد رايلى على انتقال الحرارة الكلي داخل الفجوة.