

دراسة انتقال الحرارة بالحمل الحر داخل فجوة مستطيلة مقسمة بحواجز

ماجستير هندسة ميكانيكية

تم في هذا البحث انتقال الحرارة بالحمل الحر عدديا داخل فجوة مستطيلة مقسمة بحواجز موضوعه على الجدار العلوي والسفلي، أذ 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 : 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 ساخنا، نلاحظ انه كان هناك توافقا جيدا 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.

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 دية 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 .

-:

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:-

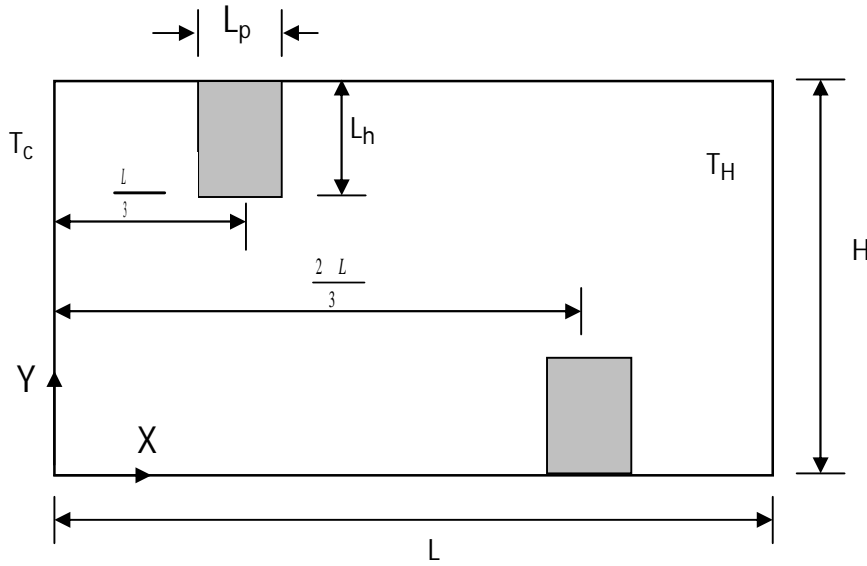
أن التطبيقات الهندسية الحديثة للفجوات المستطيلة والمقسمة بحواجز والمستخدم في انتقال الحرارة والتي تطبقها في معظم دول العالم للاستفادة منها في تكنولوجيا التبريد لأنها ذات إنتاجية عالية من حيث التبريد والتدفئة وهذا مؤشر على إمكانية التطبيق لهذه الدراسة في العراق.

الموديل الفيزيائي والمعادلات الحاكمة:-

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 () والحواجز تم اعتبارها اديباتيكية وبأطوال مختلفة لمعرفة تأثير الطول على نسبة انتقال الحرارة كذلك تم

تغيير قيم أعداد راييلي 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.

(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.



(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 (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) حسب القيم ($L_h=0.25, 0.5, 0.75$) لبيان تأثير هذه الأطوال على انتقال الحرارة، كذلك تم تغيير أعداد راييلي ($Ra=10^3-10^6$) لدراسة تأثير زيادة عدد راييلي على (L) وهو بمقدار ضعف الارتفاع (H).

الحاكمة للجريان وانتقال الحرارة هي معادلات الكتلة . تم فرض إن الجريان إطباقِي، مستقر، ثنائي البعد . بالاعتماد على الفرضيات أعلاه فإن المعادلات التي تصف الجريان وانتقال الحرارة

يمكن كتابتها با :-

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

تناولت كثير من الدراسات موضوع انتقال الحرارة بالحمل داخل فجوات مقسمة بالحواجز في مختلف دول العالم. (Dagtekin & oztop) والخاصة بانتقال الحرارة بالحمل والجريان داخل فجوة مقسمة بحاجزين مستقلين عددياً، الجدار السفلي والعمودي الأيمن تم اعتبارهما اديبائيتان بينما الجداران 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 [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 () إلى ارتفاع الفجوة مساوية $(1, 1/4, 1/8, 0,1/16)$ 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) $(1/2, 1/4, 1/8, 0)$ اديبائيتي موضوع بصورة عمودية، الحصول على علاقة لعدد نسلت تبين إن نسبة انتقال الحرارة تزداد مع ازدياد عدد رايلي أو زيادة نسبة الفتحة الموجود في الحاجز. [3] ويبين (Acharya S. & Jetli R.)

حواجز اديبائيتية 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 (جدار الأيسر) . أن الزيادة في أعداد رايلي تسبب زيادة في انتقال الحرارة وهذا يؤكد العلاقة الطردية بينهما. (4)

(Scozia and Frederich) 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]

تم استخدام تقنية الحجم المحددة في البحث والتي تجمع بين خواص الخوارزمية (semi- implicit method for pressure linked equations) وتلك الخاصة 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

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:-

$$\begin{aligned} (\phi) & \text{ هو متغير عام بحيث انه} \\ \phi = 1 & \text{ (حينها تمثل المعادلة (5) معادلة الاستمرارية)} \\ \phi = U, V & \text{ (تصحيح المعادلة (5))} \\ \phi = \theta & \text{ (تصحيح المعادلة (5))} \end{aligned}$$

(5) تم حلها للحصول على مركبات السرعة بالبعدين (x , y) .
الحرارة داخل مجال الجريان وأخيرا تم الحصول على قيمة الضغط وتصحيحه لكل عقدة من شبكة العقد الخا
(Fortran90) لإجراء الحسابات وبصورة تكرارية مع
(0.5)، والخطوات التكرارية للحل تم إعادتها لحين الحصول على معيار تقارب مساوي الى 10^{-6}

[7].⁵

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 :-

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

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

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

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) (H) كذلك تم دراسة تأثير عدد راييلي (Ra) رارة 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 ونسبة χ (1%).
- 2- (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) الأيسر. 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. بزيادة طول الحاجز من المنطقة المحصورة بينهما. رة 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 الحاجزين كما هو مبين (3-f).
- 3- بزيادة عدد رايلي إلى $(Ra=10^4)$ فأنتنا نلاحظ ان الترافص الموجود بالقرب من الجدران العمودية في كل من درجات الحرارة وخطوط دالة الانسياب يقل مقارنة بالشكل السابق (3) وكما هو واضح بالشكل (4). 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 (5-e) لذلك نلاحظ وجود اربع دوامات في الشكل أعلاه، كذلك نلاحظ توزيع درجات الحرارة حول الحواجز وحركة طوط درجات الحرارة نحو الحواجز بزيادة طولها كما هو موضح في الأشكال (5-b, 5-d, 5-f).
- 5- عند زيادة عدد رايلي $(Ra=10^6)$ (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 (6-b, 6-d, 6-f).
- 6- (7) يبين تأثير تغيير طول الحواجز وزيادة عدد رايلي على انتقال الحرارة () الفجوة نلاحظ انه عند عدد رايلي $(Ra=10^3)$ فان انتقال الحرارة يقل بزيادة الارتفاع العمودي (y) $(Lh=0.25)$ بينما يزداد ولكن بقيم متفاوتة عند زيادة طول الحواجز كما هو واضح بالشكل (7-a) وتفسير ذلك هو تقليل الترافص بزيادة طول الحواجز. بزيادة عدد رايلي نلاحظ ان قيم نسلت تقل على طول المحور (y) بزيادة طول الحواجز كما هو واضح بالشكل (7-b) ماعدا زيادة طفيفة عند $(Lh=0.75)$ يتكرر بزيادة عدد رايلي لكن بقيم اكبر لأعداد نسلت.
- 7- (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 (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 الخاص بدرجة حرارة الجدران العمودية.
(حالة فرض إن الجدار الأيسر هو الساخن) يؤدي إلى زيادة انتقال الحرارة داخل الفجوة المستطيلة.

1- زيادة في طول الحواجز تؤدي إلى توليد جريان ذو دوامات منتظمة على جانبي الحواجز والتي تساعد على زيادة

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.

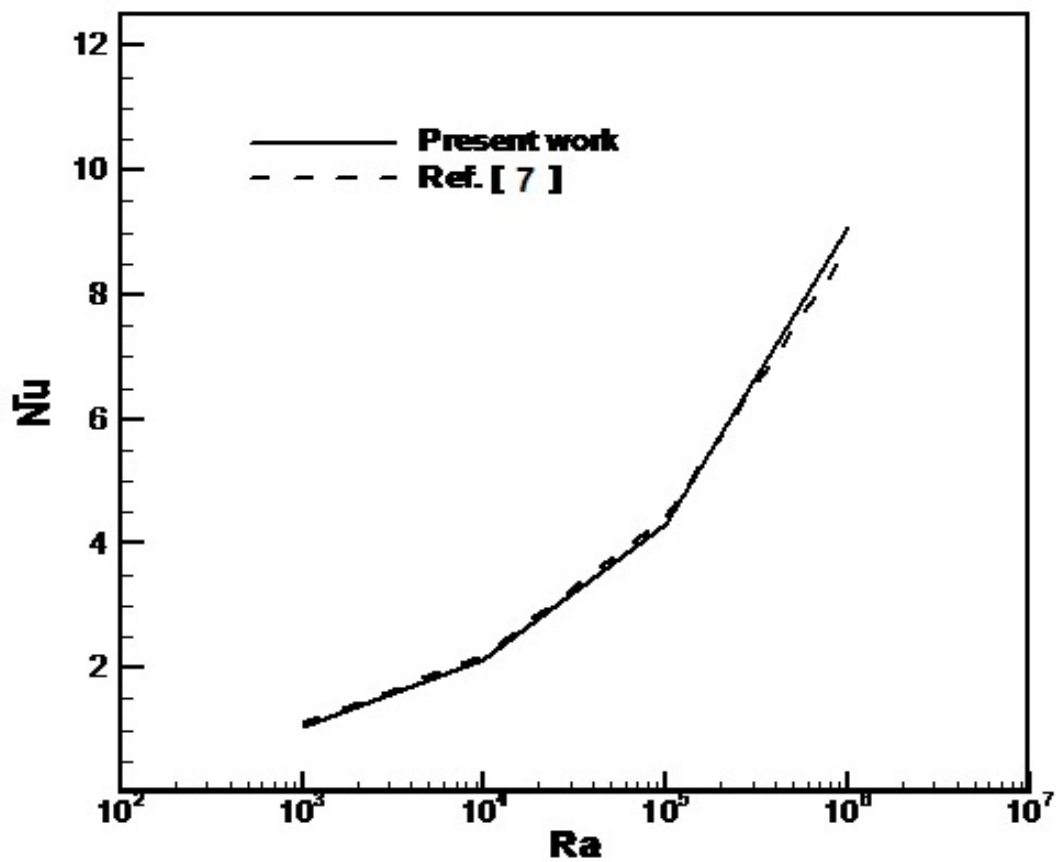
4- أن مقدار الزيادة في عدد رايلي يؤدي إلى زيادة انتقال الحرارة بالحمل الحر داخل الفجوة المستطيلة المقسمة

5- إن تغيير الشروط الحدية خلال العمل كان له تأثير كبير على انتقال الحرارة في داخل الفجوة المستطيلة المقسمة

-:

- [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.

m/s^2	التعجيل الأرضي	g
m		H
m		L
m		Lh
m		Lp
	الجدار الأيسر ساخن	LWH
		Nu
N/m^2		p
		P
		Pr
	عدد رايلي	Ra
	الجدار الأيمن ساخن	RWH
	(5)	Su
$^{\circ}C$	()	T_C
$^{\circ}C$	()	T_H
m/s		u,v
	السرعة اللابعدية	U,V
m	الإحداثيات الكارتيزية	x,y
	الإحداثيات الكارتيزية اللابعدية	X,Y
	الانتشارية الحرارية	
	اللزوجة الكينماتية	
	درجة الحرارة اللابعدية	
	متغير عام (5)	



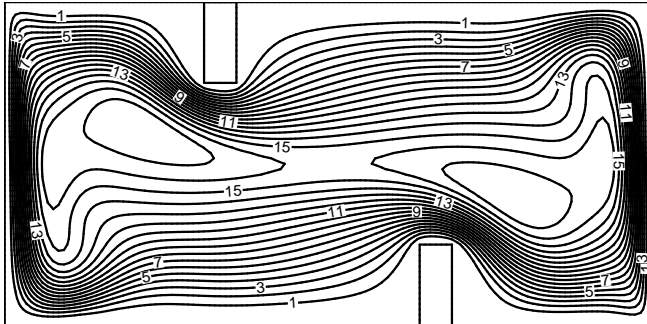
. [7]

. (2)

$$Ra = 10^3$$

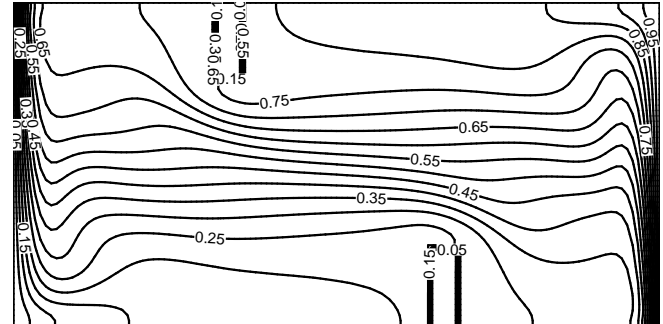
Stream

Temp.

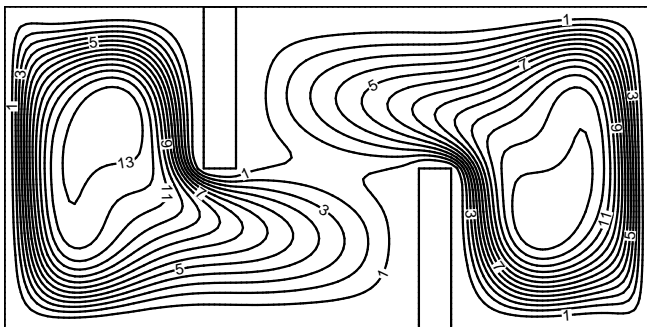


a

Lh=0.25

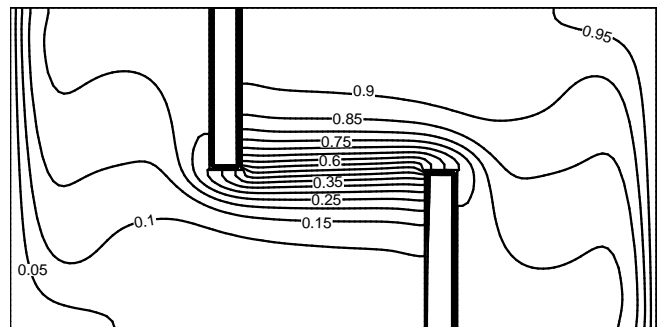


b

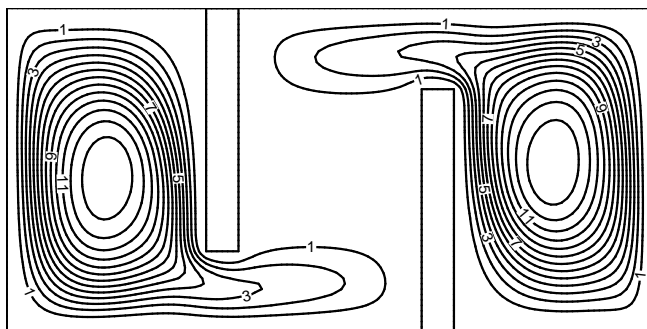


c

Lh=0.5

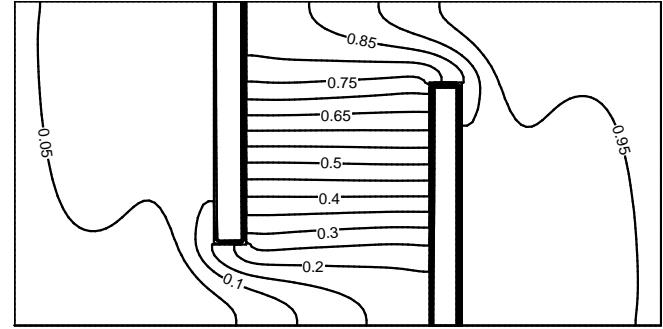


d



e

Lh=0.75



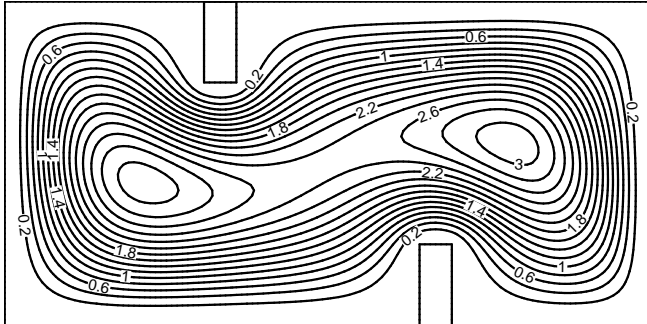
f

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

$$Ra = 10^4$$

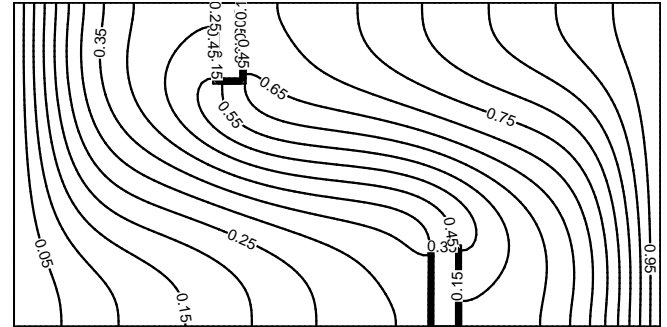
Stream

Temp.

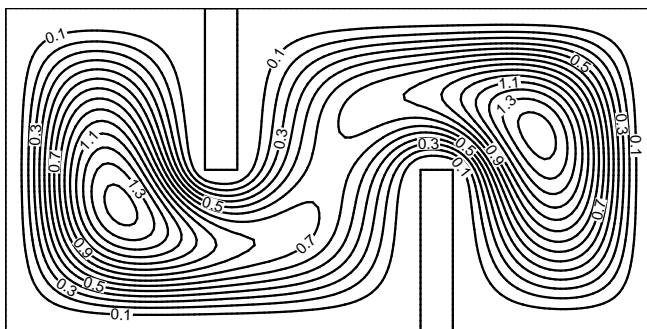


a

Lh=0.25

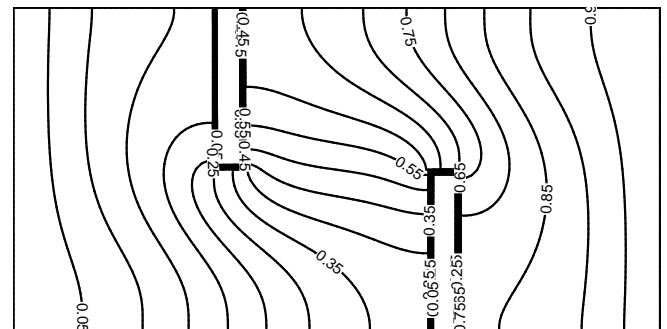


b

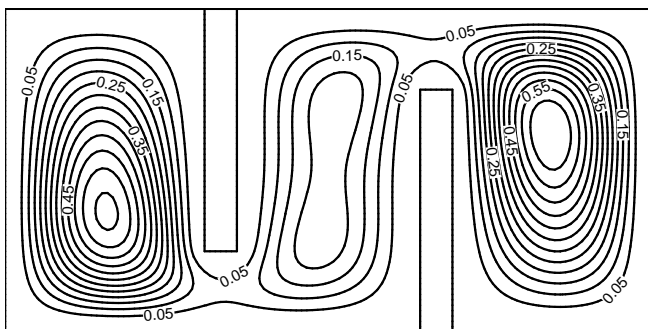


c

Lh=0.5

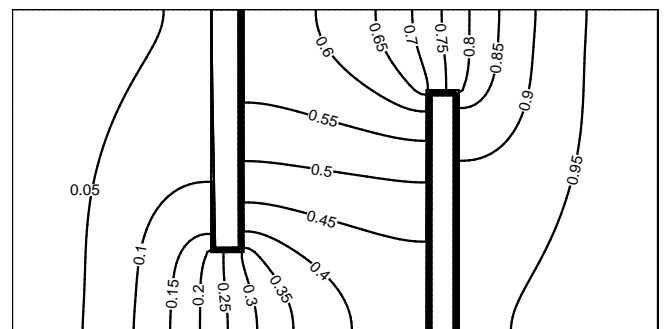


d



e

Lh=0.75



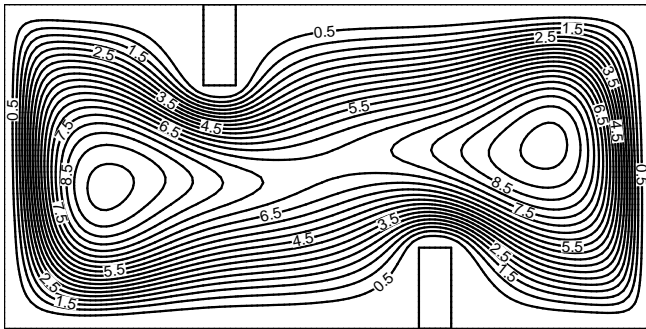
f

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

$$Ra = 10^5$$

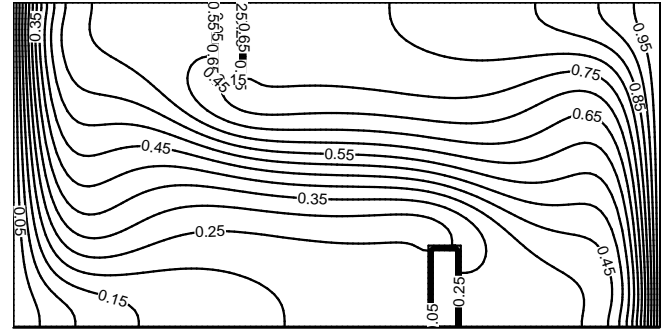
Stream

Temp.

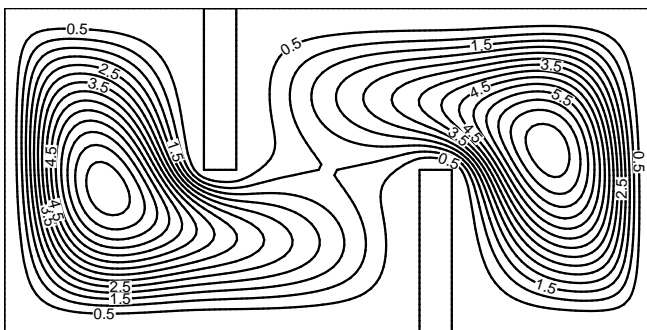


a

Lh=0.25

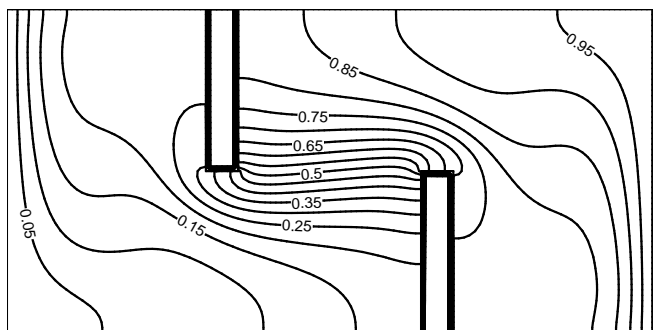


b

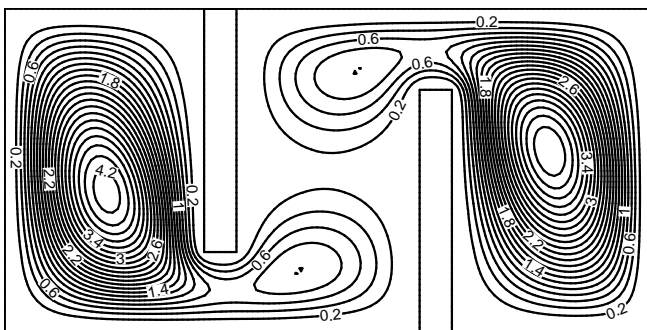


c

Lh=0.5

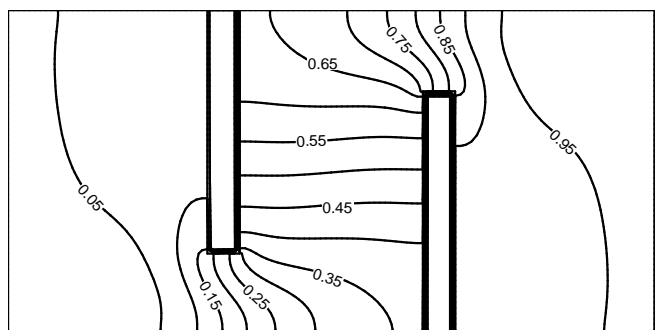


d



e

Lh=0.75



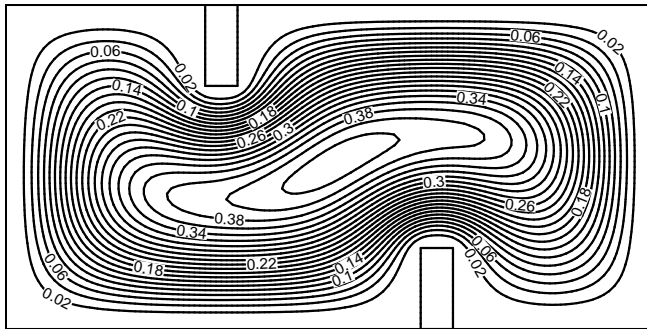
f

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

$$Ra = 10^6$$

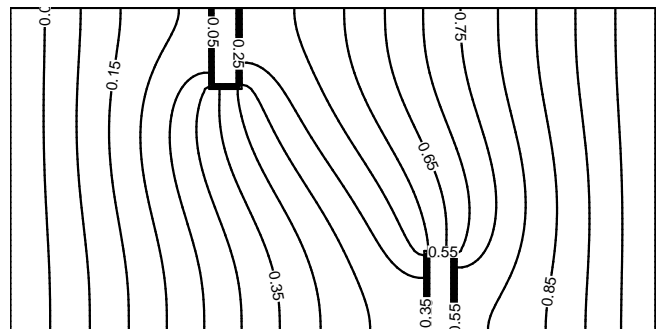
Stream

Temp.

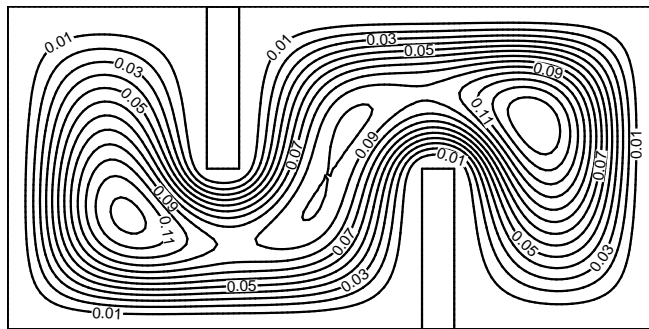


a

Lh=0.25

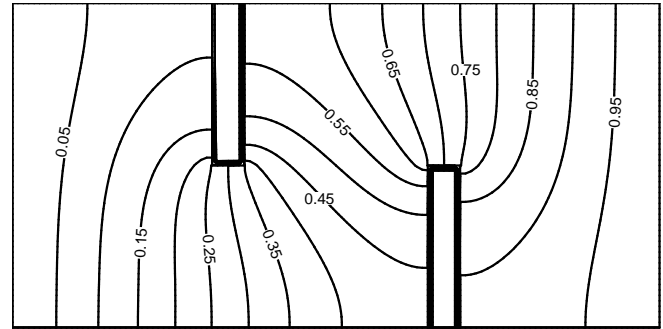


b

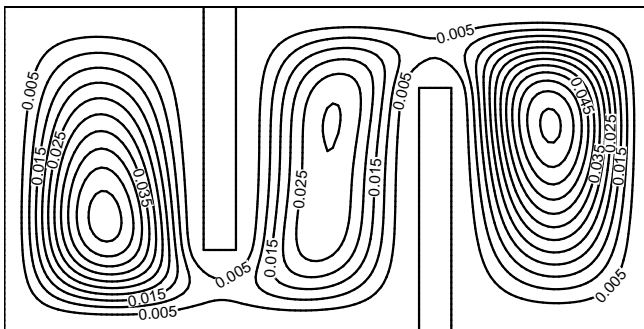


c

Lh=0.5

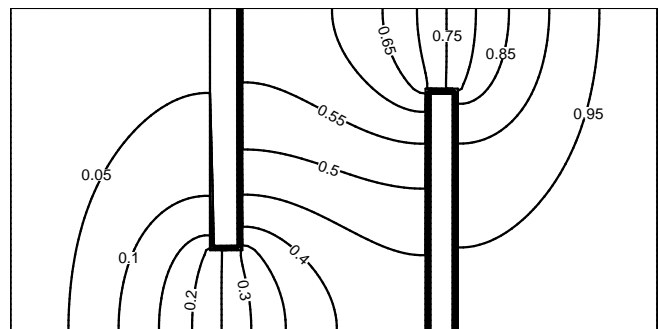


d



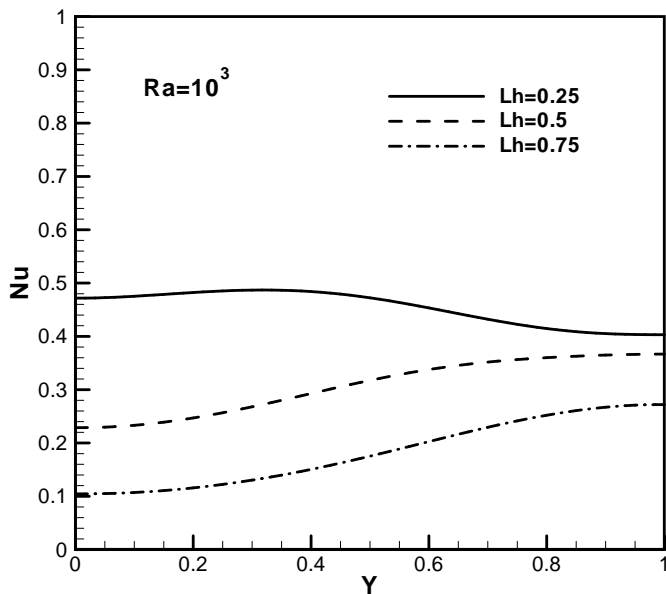
e

Lh=0.75

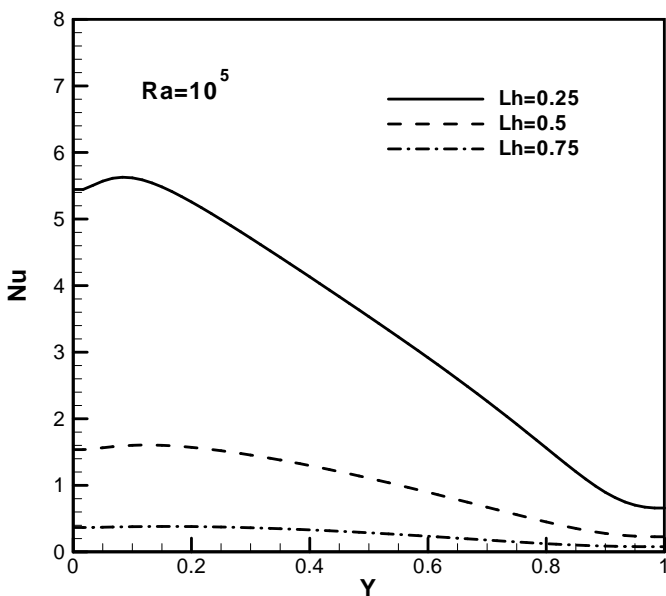
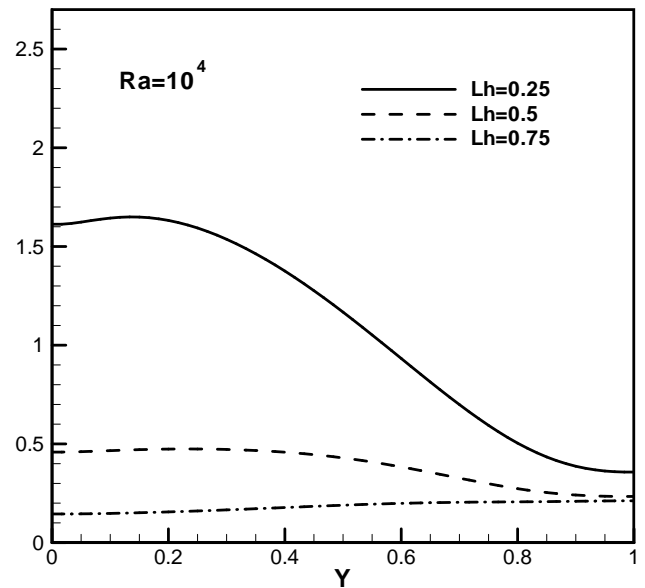


f

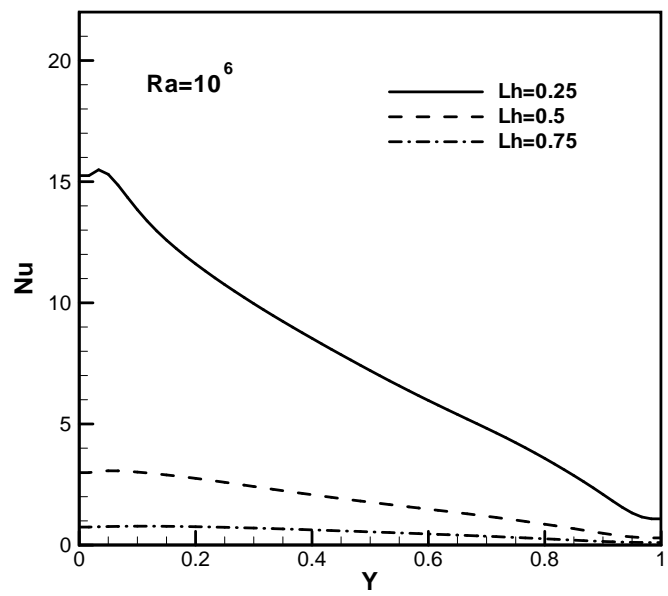
(6) تأثير زيادة طول الحواجز على كل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة عند ($Ra = 10^6$).



a

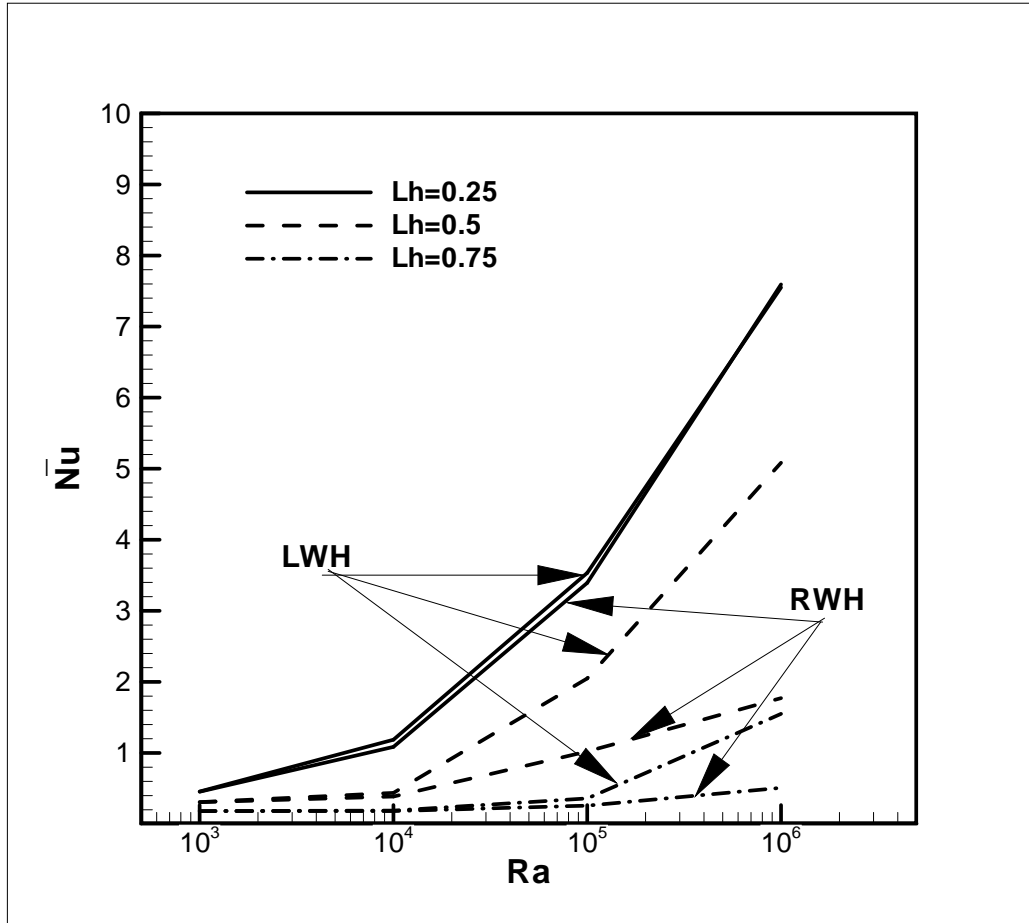


c



d

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



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