

دراسة تأثير الجريان اللادارسي على الحمل الطبيعي داخل تجويف مستطيل الشكل مملوء بوسط مسامي مشبع ومسخن من الأسفل باستخدام حاجزين ادياباتييين

زياد محمد مجيد المخبول

كلية الهندسة - قسم الهندسة الميكانيكية - جامعة الموصل

الخلاصة

توضح هذه الدراسة تأثير وجود حاجزين ادياباتييين مثبتين أفقياً داخل حيز ثنائي الأبعاد مملوء بوسط مسامي مشبع على انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي. الحيز ذي جوانب معزولة بينما تنتقل الحرارة من أسفل التجويف الى أعلاه. تم استخدام التحليل العددي لحل معادلات المتحركة والمتمثلة بمعادلات الزخم والطاقة والاستمرارية بطريقة الفروق المحددة وكانت الدراسة ضمن تأثير جريان اللادارسي. تضمنت الدراسة تغيير عدد رالي من (١٠٠-٥٠٠) وعامل القصور الذاتي من (٠.٠١-٠.٠٠٠١) وتم تغيير أطوال الحاجز العلوي عند (٣٠%-٥٠%-٧٠%) مع بقاء طول الحاجز السفلي عند (٣٠%) وبالعكس كما تم تغيير طول الحاجزين معا (٣٠%-٥٠%-٧٠%) وتغيير موقع الحاجزين معا عند (٢٠%-٣٠%-٤٠%) للحاجز السفلي و(٦٠%-٧٠%-٨٠%) للحاجز العلوي إضافة إلى التباعد بين الحاجزين عند نسبة باعية (A=1.0). بينت النتائج أن وجود الحواجز يقلل من انتقال الحرارة بالمقارنة مع عدم وجودها، فعند تغيير طول الحاجز العلوي (٧٠%) نجد ان كمية الحرارة تقل بمقدار (٦٨.٢%) بينما عند زيادة طول الحاجز السفلي مع بقاء الحاجز العلوي ثابتا تقل كمية الحرارة بنسبة (٦٦.٤%) أما عند زيادة طول الحاجزين معا عند حد (٧٠%) فان كمية الحرارة تقل بنسبة (٧٣.٢%) كما تبين ان كلما كان الحاجزان قريبين من بعضيهما تقل كمية الحرارة بنسبة (٥٠%) وتقل هذه النسبة لتصل (٢٢.٨%) عند ابتعاد الحاجزين عن بعضيهما ليصبح أحدهما قريب من الجدار الساخن والأخر قريب من الجدار البارد، وأخيرا فان انتقال الحرارة يقل بنسبة (٤٦.٣%) عند تغير موقع الحاجزين باتجاه السطح البارد.

الكلمات المفتاحية: انتقال الحرارة ، الوسط المسامي ، حواجز ، غلاف

STUDY THE EFFECT OF NON-DARCY FLOW ON NATURAL CONVECTION INSIDE RECTANGULAR CAVITY FILLED WITH SATURATED POROUS MEDIUM HEATED FROM BELOW USING TWO ADIABATIC PARTITIONS

Ziad. M. Al-Makhyoul

University of Mosul-Mechanical Engineering-Mosul-Iraq

Abstract

This study explains the effect of presence two adiabatic partitions fixed horizontally inside two dimensional enclosure filled with porous medium on natural convection heat transfer. The vertical walls of enclosure was insulated and the heat is transferred from the bottom to the above. A numerical study is used to solve the governing equations which represented by momentum, energy and continuity equations with finite difference method and it was in non-Darcian heat flow. The study included change in modified Rayleigh number (100 to 500), an inertia parameter (10^{-2} to 10^{-4}), change the upper partition length at (30%-50%-70%) with stay the lower partition is constant at (30%) and opposite, change the lengths of two partitions at (30%-50%-70%) together, change the positions of two partitions at (20%-30%-40%) for the lower partition and (60%-70%-80%) for the upper partition and in addition to divergence between the two partition. The study at a constant aspect ration at ($A=1.0$). The results are showed the reduction in heat transfer compare with the no partitions. When the increase in the length of upper partition, the reduction in heat transfer of (68.2%) while when the increase in the length of lower partition the reduction reach to (66.4%) and the increase in the lengths of two partitions lead to the reduction to (73.2%). The reduction is (50%) when the two partitions near from both and when the upper partition near the cold wall and the lower partition near the hot wall, finally the heat transfer is reduced with (46.3%) when the change in the position of partitions toward the cold wall.

قائمة الرموز

الوحدة	التعريف	الرمز
(J/kg.K)	الحرارة النوعية عند ثبوت الضغط	C_p
m	طول الحاجز السفلي	X_{p1}
m	طول الحاجز العلوي	X_{p2}
m	المسافة بين السطح السفلي والحاجز السفلي	Y_{p1}
m	المسافة بين السطح السفلي والحاجز العلوي	Y_{p2}
m	سمك الحاجز	t_p
---	دالة عامة	f
b/L	عدد فروكهايمر	F_s
m/s^2	التعجيل الارضي	g
m^2	معامل النفاذية للوسط المسامي	K
M	عرض التجويف	L
M	ارتفاع التجويف	H
----	عدد نسلت	Nu
N/m^2	الضغط	P
v/α	عدد برانتل	Pr
H/L	النسبة الباعية	A
W	كمية الحرارة المنتقلة	Q
$\rho_0 g \beta L^3 \Delta T / \mu$	عدد رالي	Ra
α		
Da . Ra	عدد رالي المطور	Ra^*
K	درجة الحرارة	T

$T_h - T_c$ (K)	الفرق في درجات الحرارة	ΔT
m/s	سرعة المائع	u, v
m/s	معدل سرعة المائع	V
m/s	القيمة المطلقة لمعدل السرعة	V
x, y	الاحداثيات الديكارتية	x, y
الرموز الإغريقية		
	معامل التمدد الحراري الحجمي	β
$(T - T_c)/(T_h - T_c)$	درجة الحرارة اللابعديّة	θ
Kg/m.s	اللزوجة الديناميكية	μ
Kg/m ³	الكثافة	ρ
m ² /s	دالة الانسياب	Ψ
	المسافة بين كل عقدتين بالاتجاه الافقي	Δx
	المسافة بين كل عقدتين بالاتجاه العمودي	Δy
الرموز السفلية الدليلية		
	السطح البارد	c
	السطح الساخن	h
	التوصيل	Cond.
	الحمل	Conv.
	الكلي	total
	الحاجز	P
الرموز العلوية الدليلية		
	اللابعديّة	\wedge

المقدمة:

إن موضوع الحمل الطبيعي لانتقال الحرارة مهم جدا نظرا لتطبيقاته الكثيرة في العديد من مجالات الطبيعة، وبالرغم من انه لا توجد سرعة قسرية تولد هذا النوع من الحمل إلا انه تتولد تيارات الحمل الطبيعي داخل المائع التي تحته على الجريان نتيجة تأثيرات قوة الطفو أو ما تدعى بقوة التعويم. وتنتج هذه القوة من تدرج الكثافة نتيجة وجود تدرج لدرجات الحرارة وقوة الجاذبية. وبما إن سرعة جريان الحمل الطبيعي اقل بكثير من تلك التي ترافق الحمل القسري فان معدلات الانتقال بالحمل تكون اقل أيضا. وربما يكون ذلك مشجعا لإعطاء أهمية اقل لعمليات الحمل الطبيعي غير انه يجب مقاومة ذلك إذ نرى في العديد من الأجهزة التي تتضمن طرقا متعددة لانتقال الحرارة والتي يتطلب بها تقليل معدلات انتقال الحرارة أو كلفة التشغيل فان الحمل الطبيعي يؤدي دورا مهما في تصميم أو أداء الجهاز الذي يفضل كثيرا على الحمل القسري. وبصورة عامة يمكن ملاحظة أمثلة كثيرة عن الحمل خلال الوسط المسامي في المنظومات الصناعية مثل العوازل الحبيبية وهياكل الملفات

الكهربائية ذات القدرة العالية وقلب المفاعلات النووية (Saeed 2000). إن الدراسات في مجال انتقال الحرارة ضمن الأوساط المسامية كثيرة منها مايشمل الدراسات العملية والنظرية ولكثرة عددها فسوف يتم التركيز على الدراسات التي تحتوي على حواجز لقربها من الدراسة الحالية.

قام الباحثان (Bejan & Anderson 1981) بدراسة تحليلية لوسط مسامي يحتوي على حاجز يقسم الوسط إلى جزأين مثبت بصورة موازية إلى الأسطح العمودية التي تكون ذات درجة حرارة مختلفة (Th, Tc)، حيث تتكون دارة في كل جزء وتتأثر أحدهما بالآخرى عن طريق الحاجز حيث تنتقل الحرارة من الحيز ذو درجة الحرارة العالية إلى الحيز الآخر. توصل الباحثان إلى أن معدل انتقال الحرارة يتأثر بخواص الحاجز .

قام الباحث (Bajorek 1981) بدراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل الطبيعي لوسط مسامي مربع الشكل إذ يكون انتقال الحرارة من خلال أسطحه العمودية. استخدم في هذا البحث حاجزين معزولين حرارياً مثبت أحدهما على السطح العلوي والآخر على السطح السفلي لبيان مدى تأثير وفعالية الحواجز على انتقال الحرارة باستخدام مقياس التداخل الضوئي. استنتج الباحث إن الحواجز قللت من انتقال الحرارة بنسبة ١٥%.

درس الباحث (Nansteel 1981) عملياً انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي لوسط مسامي يحتوي على حاجز مثبت على السطح العلوي للوسط وموصل للحرارة ومرة أخرى معزول حرارياً. اخذ الباحث بنظر الاعتبار أطوال مختلفة للحاجز أي أنه غير في نسبة طول الفراغ بين السطح السفلي للوسط وقمة الحاجز نسبة إلى ارتفاع الوسط واستنتج الباحث أن انتقال الحرارة يتأثر بوجود الحاجز وخاصة عندما يكون معزول حرارياً. قام الباحث (Bejan 1981) بدراسة أطوال مختلفة للحاجز وذلك بوضع الحاجز بصورة أفقية ذو درجة حرارة ثابتة مع تغير طول هذا الحاجز لأكثر من مرة كما تمت دراسته عندما يكون معزول حرارياً وذو طول مساوي لعرض التجويف وكانت الدراسة ضمن جريان دارسي. استنتج الباحث إن معدل انتقال الحرارة يقل مع زيادة طول الحاجز.

قام البحث (Symons 1986) بدراسة عملية لانتقال الحرارة لوسط يحتوي على عدة حواجز. بين الباحث إن الأسطح العمودية للوسط كانت معزولة حرارياً بينما الأسطح الأفقية ذات درجة حرارة ثابتة. أما بالنسبة لدرجة حرارة السطح السفلي فكانت أعلى من درجة حرارة السطح العلوي ، كما بين الباحث أن دراسته كانت تتضمن حالتين ، أحدهما أن الوسط لا يحتوي على حواجز والأخرى يحتوي على عدة حواجز مثبتة على السطح العلوي للوسط، قام الباحث بتغيير طول الحاجز لأكثر من مرة كما قام بتغيير زاوية ميلان الوسط لأكثر من زاوية ($\theta=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$) ولاحظ أن انتقال الحرارة يزداد بنقصان طول الحاجز ويقل بزيادة زاوية ميل الوسط.

درس الباحث (Nishimura 1989) وآخرون انتقال الحرارة عملياً لوسط مسامي يحتوي على عدة حواجز تقطع الوسط إلى أوساط كثيرة (أفقي وعمودي) يبدا عددها بالتزايد تدريجياً وهي ذو درجة حرارة ثابتة. استخدم الباحث طريقة الفينوفثالين في العمل لظهور اتجاه الجريان وكيفية انتقال الحرارة ، توصل الباحث إلى أن معدل انتقال الحرارة وتوزيع درجات الحرارة واتجاه جريان المائع متشابه في كل جزء من أجزاء الوسط

المسامي المحصورة بين الحواجز سواء كان هذا الوسط افقي ام عمودي. كما لاحظ ان معدل انتقال الحرارة يكون اكبر عندما تكون الحواجز مثبتة بصورة افقية نتيجة تحول الجريان من منتظم الى غير منتظم.

قام الباحثان (Acharya & Jetli 1990) بدراسة تحليلية لوسط مسامي مربع الشكل يتخلله الهواء ويحتوي على حاجز لبيان تأثير موقع الحاجز وارتفاع الحاجز على معدل انتقال الحرارة ، درس الباحث ثلاث مواقع مختلفة للحاجز على السطح البارد ($1/4$ و $1/2$ و $3/4$) وبارتفاعات مختلفة استنتج الباحث ان تغيير ارتفاع الحاجز وعدد رالي صغير يكون جريان المائع متشابه على جانبي الحاجز ولكن بزيادة عدد رالي يظهر تأثير الحاجز على جريان المائع إذ إن الحيز المحصور بين الحاجز والسطح البارد يكون الجريان فيه اضعف بالنسبة للحيز المحصور بين الحاجز والسطح الحار استنتج الباحث عندما يكون الحاجز اقرب الى السطح الحار يكون ذات تأثير اكبر على تقليل انتقال الحرارة ، ولكن تأثير موقع الحاجز صغير نسبيا بين موقع واخر وان معدل الحرارة المنتقلة تقل مع زيادة ارتفاع الحاجز

درس الباحث (Hussain 2001) تأثير حاجز اديباتي مثبت افقيا داخل وسط مسامي مستطيل الشكل. الحيز ذي جوانب مسخنة عند درجة حرارة ثابتة مختلفة من سطح لآخر بينما الاسطح الافقية معزولة. كانت الدراسة تتضمن تغيير طول الحاجز وموقعه اضافة الى تغيير عدد رالي وعامل القصور الذاتي . قام الباحث باستخدام برنامج عددي لحل المسألة بطريقة الفروق المحددة مع طريقة كاوس سيدل المتناوبة. استنتج الباحث ان الحاجز يسبب اخماد للحمل الطبيعي ويقلل من انتقال الحرارة مقارنة مع الحالة بدون حاجز كما لاحظ ان زيادة عامل القصور الذاتي يؤدي الى نقصان في عدد نسلت.

درس الباحث (Al-Timemy 2003) عدديا تأثير الحاجز الاديباتي على انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي ضمن جريان دراسي لوسط مسامي وكان الحيز ذو جوانب مسخنة ثابتة ومختلفة من سطح لآخر بينما الاسطح الافقية معزولة حراريا. تم تثبيت عدد من الحواجز بشكل عمودي على السطح السفلي للوسط . استخدم الباحث طريقة الفروق المحددة لحل المسألة معتمدا على تغيير طول الحاجز وموقعه وتم تمثيل النتائج بدلالة خطوط الانسياب وخطوط ثبوت درجات الحرارة . استنتج الباحث ان زيادة طول الحاجز تؤدي الى نقصان في كمية الحرارة المنتقلة كما ان الحرارة تتاثر بطول الحاجز اكثر من التغيير في موقعه. في هذا البحث ستم دراسة تأثير وجود حاجزين اديباتيين مثبتين افقيا داخل حيز ثنائي الابعاد مستطيل الشكل حيث يكون انتقال الحرارة من الاسفل الى الاعلى بينما تكون الاسطح العمودية للحيز معزولة وهو مالم نلاحظه في الدراسات السابقة اعلاه على مدى واسع من الدراسات. اذ ستم الدراسة ضمن جريان اللادارسي لمعرفة تأثير القصور الذاتي على انتقال الحرارة اضافة الى تغيير طول الحواجز ومواقعها وعدد رالي والنسبة الباعية على انتقال الحرارة مقارنة مع كمية الحرارة المنتقلة بدون وجود الحواجز.

المعادلات المتحكمة:

يوجد العديد من الفرضيات التي تؤخذ بنظر الاعتبار لتسهيل حل المعادلات مثل المائع غير قابل للانضغاط وصفائحي ولا يتغير مع الزمن، الجدران غير نافذة للمائع، توزيع انسياب المائع ودرجات الحرارة

باتجاهين، الحيز ذو وسط مسامي مشبع ، المائع متزن بين الجزيئات الصلبة والمائعة، إهمال تأثير اللزوجة للمائع كما أن المائع متجانس.

ان المعادلات التي تحكم انتقال الحرارة خلال الوسط المسامي تقسم إلى ثلاث معادلات، المعادلة الأولى هي معادلة الاستمرارية مع مراعاة عدم التغيير مع الزمن وكون المائع غير قابل للانضغاط ويمكن تمثيلها كالاتي:

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

تمثل المعادلة الثانية معادلة الطاقة وهي تعمل بالاعتماد على كون خواص المائع ثابتة ولا تتغير مع الزمن ولا يوجد حرارة متولدة وتكتب كالاتي:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right] \quad \dots (2)$$

اما المعادلة الثالثة والأخيرة فهي معادلة الزخم حيث تكون باتجاه X و y على التوالي كما في المعادلتين الآتيتين :

$$\frac{\mu}{K} u + \frac{\rho b}{K} |V|.u = -\frac{\partial p}{\partial x} \quad \dots (3)$$

$$\frac{\mu}{K} v + \frac{\rho b}{K} |V|.v = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g \quad \dots (4)$$

بعد استخدام تقريبا Boussinesq للحد ρg في المعادلة (4) وإهمال حد الضغط بعد اشتقاق المعادلتين (3) نسبة الى (y) و (4) نسبة الى (x) وإجراء عملية الطرح بينهما تصبح المعادلة كالاتي:

$$\frac{\mu}{K} \left[\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\rho b}{K} \left[\frac{\partial}{\partial y} (|V|.u) - \frac{\partial}{\partial x} (|V|.v) \right] = \rho_0 g \beta \frac{\partial T}{\partial x} \quad \dots (5)$$

وعند تحويل معادلتى الطاقة والزخم الواضحتين أعلاه إلى معادلات لابعدية (Dimensionless) تصبح المعادلتين بالشكل التالي:

$$\frac{\partial^2 \hat{\psi}}{\partial \hat{y}^2} + \frac{\partial^2 \hat{\psi}}{\partial \hat{x}^2} = \frac{F_s}{Pr^*} \left[\frac{\partial}{\partial \hat{y}} (\hat{V}|\hat{u}) - \frac{\partial}{\partial \hat{x}} (\hat{V}|\hat{v}) \right] + Ra^* \frac{\partial \theta}{\partial \hat{x}} \quad \dots (6)$$

$$\frac{\partial \hat{\psi}}{\partial \hat{x}} * \frac{\partial \theta}{\partial \hat{y}} - \frac{\partial \hat{\psi}}{\partial \hat{y}} * \frac{\partial \theta}{\partial \hat{x}} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial \hat{x}^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial \hat{y}^2} \quad \dots (7)$$

عندما:

$$\hat{x} = \frac{x}{L}, \hat{y} = \frac{y}{L} \text{ and } A = \frac{H}{L} \quad \dots(8)$$

$$\theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c} = \frac{T - T_c}{\Delta T}, \quad \dots (9)$$

$$u = -\frac{\partial \psi}{\partial y}, v = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad \bar{\psi} = \frac{\psi}{\alpha}, |V| = \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots(10)$$

الحل العددي:

لحل هذه المسألة عددياً استخدمت طريقة الفروق المحددة بتقنية كاوس-سيدل المتناوبة المعروفة بسهولة استخدامها وقدرتها للتوصل الى نتائج ممتازة باقل نسبة خطأ ، حيث تم تقسيم الحيز إلى (M و N) من التقسيمات والمسافة بين كل تقسيمين هي Δx بالاتجاه الأفقي و Δy بالاتجاه العمودي. تم استخدام سلسلة تايلر بفتح المشتقة الأولى والثانية لثلاثة نقاط للإمام وللخلف بالاتجاه الأفقي كما في المعادلات ادناه:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_{i,j} = \frac{-3f_{i,j} + 4f_{i+1,j} - f_{i+2,j}}{2\Delta x} + O(\Delta x)^2 \quad \dots(11)$$

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)_{i,j} = \frac{f_{i,j} - 2f_{i+1,j} + f_{i+2,j}}{(\Delta x)^2} + O(\Delta x)^2 \quad \dots(12)$$

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_{i,j} = \frac{-3f_{i,j} + 4f_{i-1,j} - f_{i-2,j}}{2\Delta x} + O(\Delta x)^2 \quad \dots(13)$$

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)_{i,j} = \frac{f_{i,j} - 2f_{i-1,j} + f_{i-2,j}}{(\Delta x)^2} + O(\Delta x)^2 \quad \dots(14)$$

وبنفس الطريقة أعلاه يمكن فتح النقاط بالاتجاه العمودي (Y-axis).

ولحساب العقد الداخلية للحيز يتم فتح المشتقة الأولى والثانية للفرق الوسطي لثلاث نقاط وتمثل كالاتي:

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i-1,j}}{2\Delta x} + O(\Delta x)^2 \quad \dots(15)$$

$$\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right)_{i,j} = \frac{f_{i-1,j} - 2f_{i,j} + f_{i+1,j}}{(\Delta x)^2} + O(\Delta x)^2 \quad \dots(16)$$

أما عند تحويل معادلة الزخم الممثلة في المعادلة (5) إلى طريقة الفروق المحددة فتكتب بالشكل الآتي:

$$\frac{\hat{\psi}_{i,j+1} - 2\hat{\psi}_{i,j} + \hat{\psi}_{i,j-1}}{(\Delta\hat{y})^2} + \frac{\hat{\psi}_{i+1,j} - 2\hat{\psi}_{i,j} + \hat{\psi}_{i-1,j}}{(\Delta\hat{x})^2} = \text{Ra} \left(\frac{\theta_{i+1,j} - \theta_{i-1,j}}{2\Delta\hat{x}} \right) \quad \dots(17)$$

$$+ \frac{F_s}{\text{Pr}} \left[\left\{ \frac{|\hat{V}|_{i,j+1} * u_{i,j+1} - |\hat{V}|_{i,j-1} * u_{i,j-1}}{2\Delta\hat{y}} \right\} - \left\{ \frac{|\hat{V}|_{i+1,j} * v_{i+1,j} - |\hat{V}|_{i-1,j} * v_{i-1,j}}{2\Delta\hat{x}} \right\} \right]$$

عندما :

$$u_{i,j} = \frac{\hat{\psi}_{i,j-1} - \hat{\psi}_{i,j+1}}{2\Delta\hat{y}}, \quad v_{i,j} = \frac{\hat{\psi}_{i+1,j} - \hat{\psi}_{i-1,j}}{2\Delta\hat{x}} \quad \dots(18)$$

$$|\hat{V}|_{i,j} = \left| \sqrt{(\hat{u}_{i,j})^2 + (\hat{v}_{i,j})^2} \right| \quad \dots(19)$$

اما معادلة الطاقة فيتم تحويلها بالشكل التالي:

$$-\left(\frac{\hat{\psi}_{i,j+1} - \hat{\psi}_{i,j-1}}{2\Delta\hat{y}} \right) \left(\frac{\theta_{i+1,j} - \theta_{i-1,j}}{2\Delta\hat{x}} \right) + \left(\frac{\hat{\psi}_{i+1,j} - \hat{\psi}_{i-1,j}}{2\Delta\hat{x}} \right) \left(\frac{\theta_{i,j+1} - \theta_{i,j-1}}{2\Delta\hat{y}} \right) \quad \dots(20)$$

$$= \left(\frac{\theta_{i+1,j} - 2\theta_{i,j} + \theta_{i-1,j}}{(\Delta\hat{x})^2} \right) + \left(\frac{\theta_{i,j+1} - 2\theta_{i,j} + \theta_{i,j-1}}{(\Delta\hat{y})^2} \right)$$

الظروف الحدية للحيز يمكن التعبير عنها بالمعادلات أدناه:

$$\text{At } \hat{y} = 0, \quad 0 < \hat{x} < 1, \quad \theta = 1, \hat{\psi} = 0, u = 0, v = 0$$

$$\text{At } \hat{y} = A, \quad 0 < \hat{x} < 1, \quad \theta = 0, \hat{\psi} = 0, u = 0, v = 0$$

$$\text{At } \hat{x} = 0, \quad 0 < \hat{y} < A, \quad \frac{\partial\theta}{\partial\hat{x}} = 0, \hat{\psi} = 0, \hat{u} = 0, \hat{v} = 0$$

$$\text{At } \hat{x} = 1, \quad 0 < \hat{y} < A, \quad \frac{\partial\theta}{\partial\hat{x}} = 0, \hat{\psi} = 0, \hat{u} = 0, \hat{v} = 0$$

أما الظروف الحدية للحاجز الأول فيكون كالاتي:

$$\text{At } \hat{x} = \frac{Xp1}{L}, \quad \frac{Yp1}{L} < \hat{y} < \frac{Yp1 + tp1}{L}, \quad \frac{\partial\theta}{\partial\hat{x}} = 0, \hat{\psi} = 0, \hat{u} = 0, \hat{v} = 0$$

$$\text{At } \hat{y} = \frac{Lp}{L} \frac{Xp1 - \frac{tp1}{2}}{L} < \hat{x} < \frac{Xp1 + \frac{tp1}{2}}{L}, \quad \frac{\partial \theta}{\partial \hat{y}} = 0, \hat{\psi} = 0, \hat{u} = 0, \hat{v} = 0$$

وتكتب الظروف الحدية للحاجز الثاني كالآتي:

$$\text{At } \hat{x} = \frac{Xp2}{L}, \quad \frac{Yp2}{L} < \hat{y} < \frac{Yp2 + tp2}{L}, \quad \frac{\partial \theta}{\partial \hat{x}} = 0, \hat{\psi} = 0, \hat{u} = 0, \hat{v} = 0$$

$$\text{At } \hat{y} = \frac{Lp2}{L} \frac{Xp2 - \frac{tp2}{2}}{L} < \hat{x} < \frac{Xp2 + \frac{tp2}{2}}{L}, \quad \frac{\partial \theta}{\partial \hat{y}} = 0, \hat{\psi} = 0, \hat{u} = 0, \hat{v} = 0$$

يتم التعبير عن انتقال الحرارة وحساب عدد نسلت كما في المعادلتين الآتيتين:

$$Q_{\text{total}} = \int_0^A \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right)_{y=0,H} dx \quad \dots (21)$$

$$Nu = \frac{1}{A} \int_0^A \left(\frac{\partial \theta}{\partial y} \right)_{y=0,H} dx \quad \dots (22)$$

المناقشة:

يوضح شكل (٢) تأثير زيادة طول الحاجز العلوي عند (٣٠% و ٥٠% و ٧٠%) على خطوط ثبوت درجات ودالة الانسياب مع بقاء طول الحاجز السفلي ثابتاً عند (٣٠%) من عرض التجويف. نلاحظ أن تجمع خطوط درجات الحرارة بشكل واضح بالقرب من السطح الساخن مما يوضح انتقال حرارة الكبير عند السطح الساخن من التجويف واكبر استلام للحرارة عند السطح البارد ، كما نلاحظ التدرج الكبير لدرجات الحرارة عند الحاجز السفلي ووضوح تأثير إعاقته بشكل كبير وكلما زاد طول الحاجز العلوي ينتقل التدرج تدريجياً إلى الحاجز العلوي مما يسبب إعاقه اكبر لحركة المائع وذلك واضح في خطوط دالة الانسياب فنجد أن طول الحاجز العلوي يسبب انحسار في جريان المائع أسفل الحاجز مسبباً دوامة ثانوية منفصلة أعلى الحاجز العلوي. إن زيادة طول الحاجز العلوي يؤدي إلى نقصان في قيمة مركز الدوران (ψ_{max}) بسبب انحسار الجريان أسفل الحاجز العلوي ونتيجة للشكل الهندسي. ونشاهد العكس في الشكل (٣) وبالعكس نسب الأطول في الشكل أعلاه ، فكلما زاد طول الحاجز السفلي يكون انحدار درجات الحرارة كبير عند الحاجز السفلي ويكون إعاقته للمائع اكبر من الحاجز العلوي ويقبل انحدار درجات الحرارة مؤدياً إلى خمول الحمل الطبيعي وذلك جلي في خطوط دالة الانسياب فينحسر المائع تدريجياً أعلى الحاجز مسبباً ظهور خلية ثانوية أسفل الحاجز السفلي تدور بعكس اتجاه

المائع الرئيسي كما نلاحظ النقصان في قيمة مركز الدوران (Ψ_{max}) بسبب إعاقة المائع وانكماشه في تجويف اصغر من التجويف الأصلي وذلك يؤدي إلى خمول الحمل الطبيعي.

يمثل الشكل (٤) تأثير زيادة طول الحاجزين معا على جريان المائع بنسبة (٣٠% و ٥٠% و ٧٠%) ، حيث ان النقصان في انحدار درجات الحرارة واضح وانحسار الجريان في الجهة المقابلة للحواجز عند السطح المعزول مما يقلل من نشاط الحمل الطبيعي وبالتالي التقليل من كمية انتقال الحرارة المنتقلة من أسفل التجويف إلى أعلاه ، أما بالنسبة إلى خطوط ثبوت دالة الانسياب فنجد أن طول الحاجزين يسبب إعاقة الجريان وتقليل من انتقال الحرارة وظهور خلية ثانوية أسفل الحاجز السفلي بسبب انحسار الجريان إضافة إلى نقصان سمك الطبقة المتاخمة عند السطح العازل المقابل للحاجزين بسبب قلة سرعة المائع. ومن الشكل نجد أن قيمة (Ψ_{max}) تقل بشكل واضح بسبب قلة مساحة جريان المائع بعدما كان المائع يتحرك بحرية اكبر داخل التجويف عندما تكون الأطوال القصيرة.

يبين الشكل (٥) تأثير زيادة عدد رالي عند أعداد (١٠٠ و ٣٠٠ و ٥٠٠) عندما يكون طول الحاجزين متساويين عند (٣٠%) من عرض التجويف ، حيث أن زياد عدد رالي يؤدي إلى زيادة قيمة (Ψ_{max}) بسبب زيادة سرعة المائع ومن ثم زيادة في نشاط الحمل الطبيعي وبالتالي زيادة انتقال الحرارة، كما نلاحظ زيادة تكون الطبقة المتاخمة عند الجزء السفلي للسطح المعزول المقابل للحاجزين بسبب زيادة سرعة المائع إضافة إلى زيادة الطبقة المتاخمة تدريجياً عند السطحين الساخن والبارد بسبب زيادة قوة الطفو إضافة إلى ملاحظة زيادة في انحدار درجات الحرارة عند السطح الساخن مسببة فرق كبير بكثافة المائع وبالتالي زيادة في قوة الطفو وهذا يقود إلى زيادة النشاط بالحمل الطبيعي وبالتالي زيادة في كمية الحرارة المنتقلة بزيادة عدد رالي. نلاحظ أيضاً أن عند عدد رالي (٣٠٠) يبدأ المائع بالانفصال مكوناً خلية ثانوية تدور عكسياً أسفل الحاجز السفلي بسبب زيادة سرعة المائع والمزج بين المائع البارد القادم من الأعلى مع المائع الساخن عند الجدار الساخن وكلما زاد عدد رالي أكثر ($Re=500$) تزداد سرعة المائع أكثر مولدة منطقة ساكنة عند الجزء الأيمن للسطح البارد وذلك يؤدي إلى ظهور خلية ثالثة أعلى الحاجز العلوي .

يوضح الشكل (٦-أ و ب) تأثير زيادة قيمة قوى القصور الذاتي (Fs/Pr) عند (٠.٠٠٠١ و ٠.٠٠٠٠١) حيث نلاحظ أن الزيادة عند أعداد رالي القليلة تكون ضئيلة كما هو واضح في (أ) حيث يبقى تدرج درجات الحرارة ثابتاً على الحاجز السفلي واكبر انتقال حرارة عند السطح الساخن في جميع الحالات وهذا ينعكس بشكل واضح على دالة الانسياب إذ نلاحظ وجود الطبقة المتاخمة على مقدمة الحاجز العلوي وذلك يوضح التأثير الكبير للحاجز العلوي على إعاقة حركة المائع ، إضافة إلى بقاء قيمة (Ψ_{max}) ثابتة عند الحالات الموضحة. يبدأ تأثير قوى القصور الذاتي واضحاً عندما تزداد أعداد رالي والشكل (٦-ب) يوضح هذا التأثير عند عدد رالي ($Re=300$) فيبدأ تدرج درجات الحرارة يزداد تدريجياً عند الحاجز السفلي وتزداد كمية الحرارة

المنتقلة من السطح الساخن وهذا ينعكس بصورة جلية عند أشكال دالة الانسياب حيث نلاحظ زيادة سمك الطبقة المتاخمة على الحاجز العلوي بسبب زيادة قوة الطفو وإعاقة الحاجز لجريان المائع . أن زيادة قيمة القصور الذاتي تؤدي إلى انفصال المائع أسفل الحاجز السفلي بسبب إعاقة الحاجز السفلي لحركة المائع وفي الجهة اليمنى للسطح البارد بسبب ركود المائع مؤدياً إلى دورانه عكس اتجاه دوران المائع الأصلي. كما نلاحظ انخفاض في قيمة (ψ_{max}) بسبب وجود مقاومة إضافية ممثلة بعامل القصور الذاتي وهذا يعكس مدى خمول نشاط الحمل الطبيعي وبالتالي نقصان في قيمة انتقال الحرارة.

يمثل الشكل (٧) تأثير التباعد بين الحاجزين العلوي والسفلي على جريان المائع عندما تكون ($Xp1$) عند (0.2 و 0.3 و 0.4) و ($Xp2$) عند (0.6 و 0.7 و 0.8) فنجد عندما يكون الحاجزان متقاربين من بعضيهما في وسط التجويف يكون الحاجز العلوي ذو تأثير أكبر من الحاجز السفلي حيث أنهما بهذه الوضعية يكونان اقرب إلى تكون جسم صلب يعيق حركة المائع في بدايته والمتمثلة بالحاجز العلوي وهذا واضح في خطوط ثبوت درجات الحرارة المتجمعة عند الحاجز العلوي كما نلاحظ نقصان في تجمع خطوط درجات الحرارة عند السطح الساخن بسبب خمول في نشاط الحمل الطبيعي وبالتالي نقصان في كمية الحرارة المنتقلة في الحيز. وكلما زاد التباعد بين الحاجزين نجد تحرك المائع بشكل أكبر حرية داخل التجويف أكثر وتقل الإعاقة تدريجياً إلى أن تصبح الإعاقة قليلة جداً عندما يكون الحاجز العلوي قريب إلى السطح البارد والسفلي إلى الساخن فتزداد قوة الطفو وبالتالي تزداد كمية الحرارة المنتقلة في التجويف ، ونشاهد هذا واضحاً في أشكال دالة الانسياب حيث تتكون دوامات تدور بعكس اتجاه دوران المائع الأصلي في أعلى الحاجز العلوي المعيق لحركة المائع وتبدأ هذه الدوامة بالتلاشي عند تباعد الحاجزين فيتحرك المائع بشكل أكثر حرية كما نلاحظ زيادة في قيمة (ψ_{max}) وبالتالي زيادة انتقال الحرارة من الأسفل إلى أعلى التجويف.

يبين الشكل (٨) تأثير تغيير موقع الحاجزين معاً عند ($Yp1=0.2$ و $Yp2=0.6$) و ($Yp1=0.3$ و $Yp2=0.7$) و ($Yp1=0.4$ و $Yp2=0.8$) . من الواضح تجمع خطوط درجات الحرارة عند الحاجز السفلي عندما يكون الحاجزان أسفل التجويف مما يوضح أن الحاجز السفلي يكون ذو إعاقة أكبر لجريان انتقال الحرارة منه من الحاجز العلوي وكلما تغير موقع الحاجزين باتجاه السطح البارد يبدأ تجمع خطوط درجات الحرارة عند الحاجز العلوي إذ يقترب الحاجز العلوي أكثر إلى السطح البارد فيضيق الحيز وبالتالي تكون منطقة ساكنة لحركة المائع أعلى الحاجز العلوي ، ويتضح التأثير أكثر عند ملاحظة دالة الانسياب ، حيث عندما يكون الحاجز السفلي قريب من السطح الساخن يتكون منطقة ساكنة أسفل الحاجز بسبب عدم وجود الحيز الكافي للجريان وكلما ابتعد الحاجزان نحو السطح البارد تنعكس العملية تماماً.

تمثل الأشكال (٩-أ-ب-ج-د-هـ) تأثير زيادة عدد رالي على عدد نسلت لعدد رالي من (١٠٠) إلى (٥٠٠) ، ففي جميع الحالات المدروسة نجد أن الزيادة في عدد رالي يؤدي إلى زيادة قوة الطفو وبالتالي تزداد

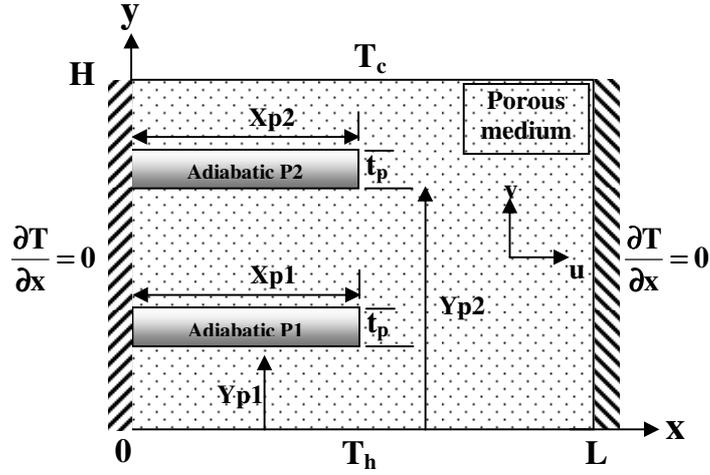
سرعة الجريان ومن ثم زيادة انتقال الحرارة والمتمثلة هنا في عدد نسلت. فعند أعداد رالي المنخفضة تكون الزيادة في عدد نسلت كبيرة وتبدأ الزيادة بالنقصان عند أعداد رالي العالية. يبين الشكل (٦-أ) تأثير زيادة طول الحاجز العلوي لغاية ($Xp2=0.7$) مع بقاء طول الحاجز السفلي ثابتاً عند ($Xp1=3.0$)، فكلما زاد طول الحاجز تزداد إعاقته لحركة المائع وبالتالي تقل سرعة الجريان وهذا يؤدي إلى نقصان في قيمة انتقال الحرارة حيث تصل إلى (٦٨.٢%) بالمقارنة مع عدم وجودهما، كما نشاهد نفس التأثير في الشكل (٦-ب) حيث أن زيادة طول الحاجز السفلي لغاية ($Xp1=0.7$) وبقاء طول الحاجز العلوي عند ($Xp2=0.3$) حيث أن النقصان في قيمة انتقال الحرارة تصل إلى (٦٦.٤%). أما عند زيادة طول الحاجزين معا لغاية ($Xp1=Xp2=0.7$) فنلاحظ أن مساحة جريان المائع تصبح قليلة جدا وتتناقص كمية انتقال الحرارة بنسبة (٧٣.٢%) كما هو واضح في الشكل (٦-ج). يمثل الشكل (٦-د) تأثير زيادة نسبة التباعد بين الحاجزين على انتقال الحرارة والمتمثلة بعدد نسلت فنجد أن عدد نسلت يقل بنسبة (٥٠%) عندما يكون الحاجزان قريبين من منتصف التجويف عند ($Yp1=0.4$ و $Yp2=0.6$) بينما تكون (٢٢.٨%) عند اقتراب الحاجز العلوي من السطح البارد عند ($Yp2=0.8$) والسفلي من السطح الساخن عند ($Yp1=0.2$). أما الشكل (٦-هـ) فيوضح تغيير موقع الحاجزين بشكل متزامن من ($Yp1=0.2$ و $Yp2=0.6$) لغاية ($Yp1=0.4$ و $Yp2=0.8$) وعند طول ($Xp1=Xp2=0.3$) في الحالة الأولى يتكون حركة جريان المائع أسهل في الحيز العلوي المتبقي القريب من السطح البارد فيكون النقصان في كمية انتقال الحرارة بنسبة (٣٢.٢%) مقارنة بعدم وجود حواجز بينما تقل بنسبة (٤٦.٣%) عند تحريك الحاجزين نحو الأعلى. وفي جميع الحالات نجد أن قيمة عدد نسلت تقل بزيادة عزم القصور الذاتي (Fs/Pr) حيث يمثل مقاومة إضافية تعيق من حركة جريان المائع داخل الحيز.

الاستنتاجات:

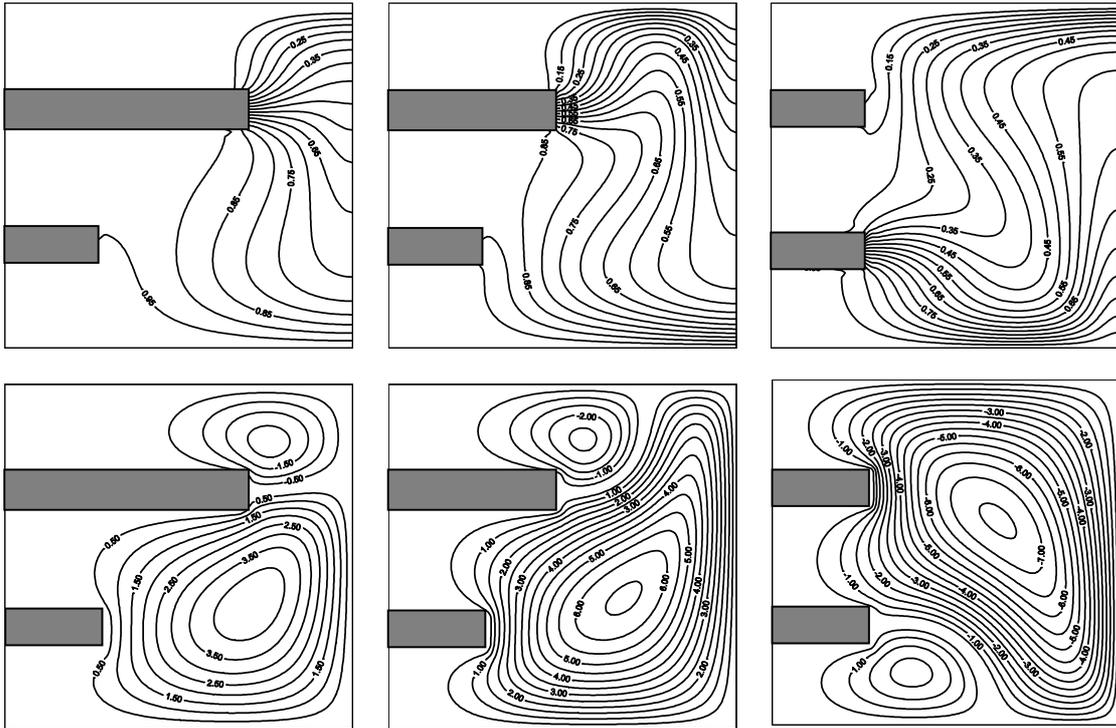
- ١- أن زيادة طول الحاجز العلوي لغاية (٠.٧) مع بقاء طول الحاجز السفلي ثابتاً عند (٠.٣) يقلل من كمية الحرارة المنتقلة بمقدار (٦٨.٢%).
- ٢- أن زيادة طول الحاجز السفلي لغاية (٠.٧) مع بقاء طول الحاجز العلوي ثابتاً عند (٠.٣) يقلل من كمية الحرارة المنتقلة بمقدار (٦٦.٤%).
- ٣- أن زيادة طول الحاجزين معا لغاية (٠.٧) يقلل من انتقال الحرارة بنسبة (٧٠%).
- ٤- عندما يكون الحاجزان متقاربين في منتصف الحيز تقل كمية الحرارة المنتقلة بنسبة (٥٠%) بينما تقل بنسبة (٢٢.٨%) عندما يكون الحاجز العلوي قريب من السطح البارد والحاجز السفلي قريب من السطح الساخن.
- ٥- عندما يكون موقع الحاجزين عند (٠.٢) للحاجز السفلي و (٠.٦) للحاجز العلوي تقل كمية الحرارة بمقدار (٣٢.٢%) بينما قيمة النقصان تصبح (٤٦.٣%) عند الموقع (٠.٤) للحاجز السفلي و (٠.٨) للحاجز العلوي.

المصادر:

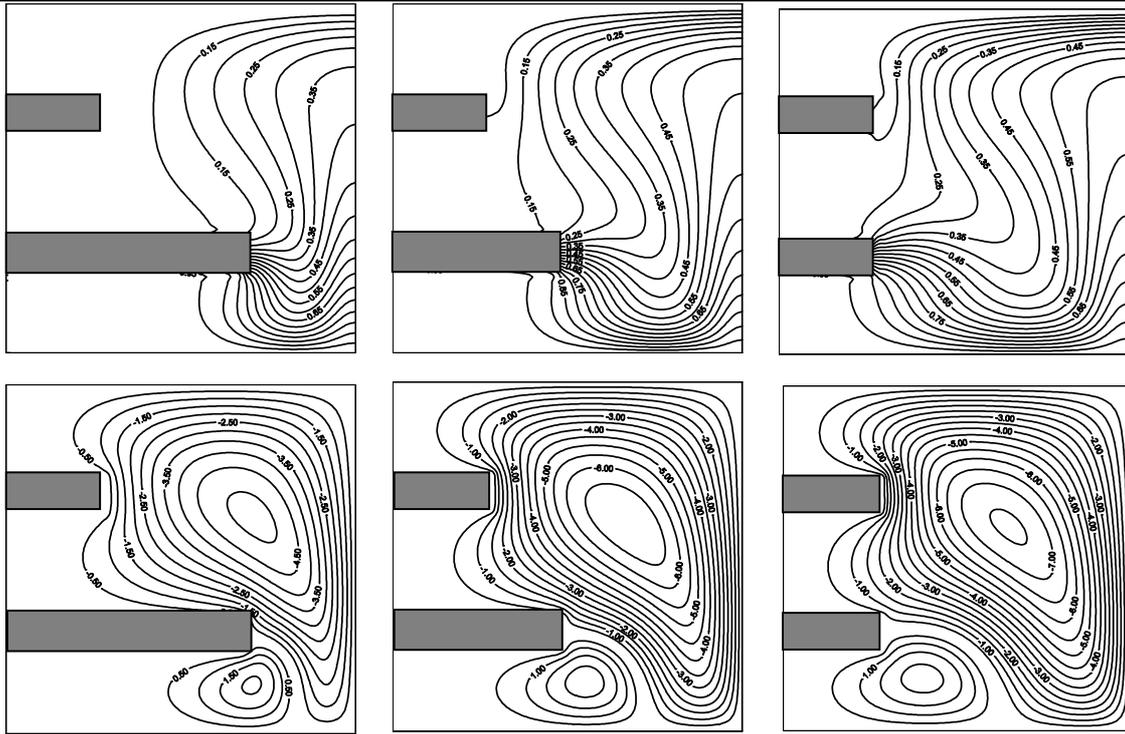
- 1-(Saeed R., 2000)" Numerical Study of Natural Convection Heat Transfer From Horizontal Cylinder Embedded in a Square Porous Medium", M.Sc. Thesis, university of Mosul.
- 2-(Bejan A. and Anderson R., 1981)" Heat Transfer a Cross A Vertical Impermeable Partition Embedded in Pours Medium", Int. J. Heat & Mass Transfer, Vol.24, PP.1237-1245.
- 3-(Bajorek S.M. and Lioyd J.R. , 1981)" Experimental Investigation Natural Convection in Partitioned Enclosures " , J. of Heat Transfer , Vol. 103 , PP. 527-532.
- 4-(Nansteel M. W. and Greif R. , 1981), "Natural Convection in undivided and Partially divided Rectangular Enclosures " , J. of Heat Transfer , Vol. 103 , PP. 623-629, 1981.
- 5-(Bejan A., 1981) " Natural Convection Heat Transfer in a Porous Layer with Flow Obstructions",Int. J. Heat Mass Transfer , Vol. 26 , PP. 815-822.
- 6-(Symons J.G., 1986)" Experimental Investigation of Natural Convection in Partially Divided Enclosure", Vol.108, PP.554-559.
- 7-(Nishimura T., Nagasawa F. and Kawamura Y., 1989)" Natural Convection in Horizontal Enclosures with Multiple Partitions" ,Int. J. Heat & Mass Transfer, Vol.32, PP.1641-1647.
- 8-(Acharya S. and Jetli R. , 1990)" Heat Transfer due to Buoyancy in Partially divided square Box", Int. J. Heat Mass Transfer , Vol. 33 , PP 931-924 .
- 9-(Hussein, A., 2001)" Effect of Non-Darcian Flow on Natural Convection in Partitioned Enclosure", Ph.D. Thesis, university of Mosul.
- 10-(Al-Tamemy, M. 2003) "Numerical study of Natural Convection in Porous Enclosure with Multi-Obstructions", M.Sc. Thesis, University of Mosul.



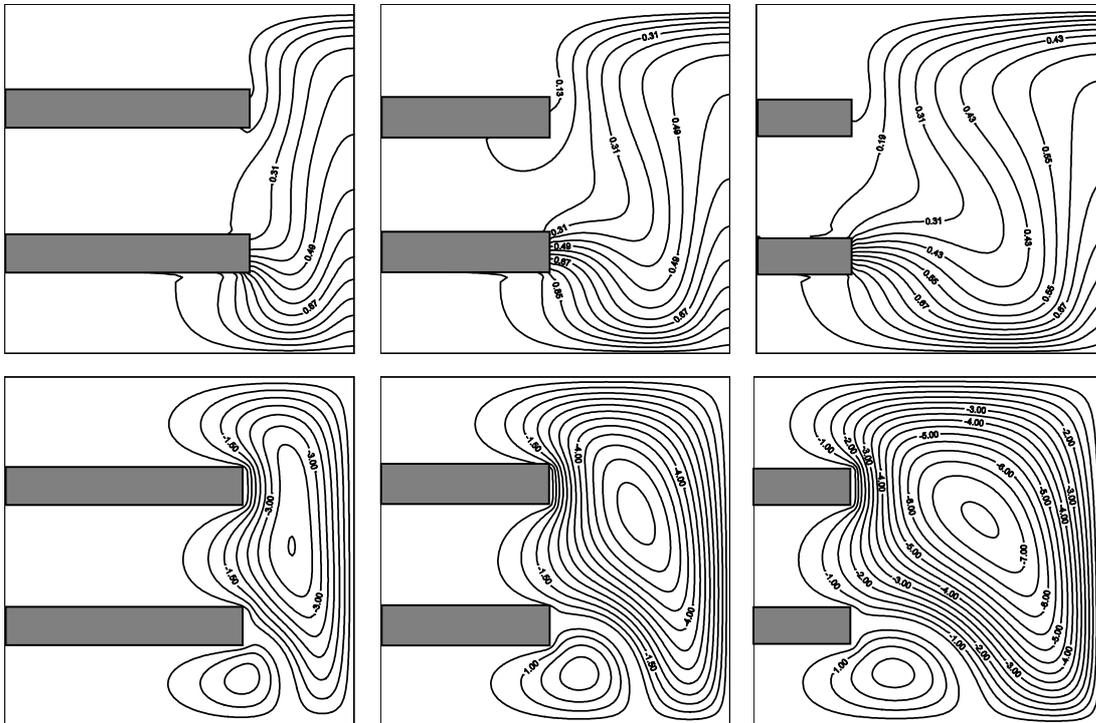
شكل (١) يمثل النموذج الفيزيائي المدروس



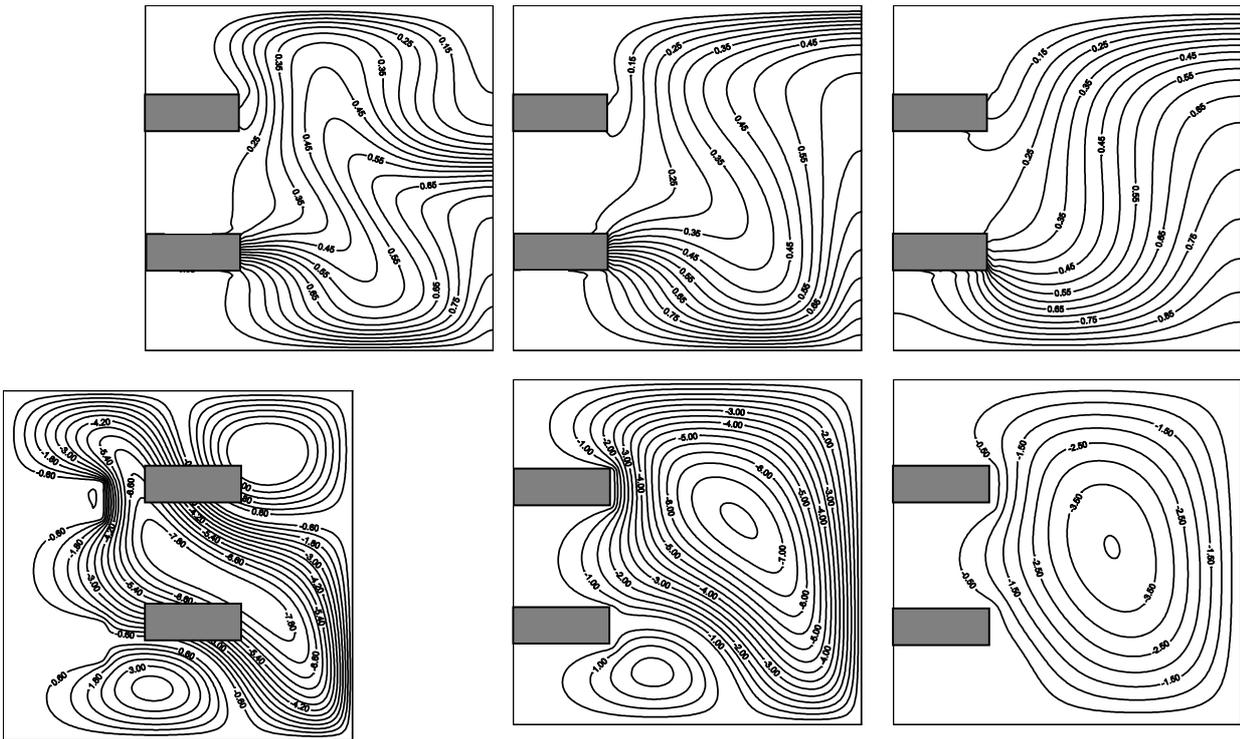
شكل (٢) تأثير تغيير طول الحاجز العلوي على خطوط ثبوت درجات الحرارة ودالة الانسياب عند
 $Xp1=0.3, Yp1=0.3, Xp2=(0.3, 0.5, 0.7), Yp1=0.7, Ra=300, Fs/Pr=0.01$



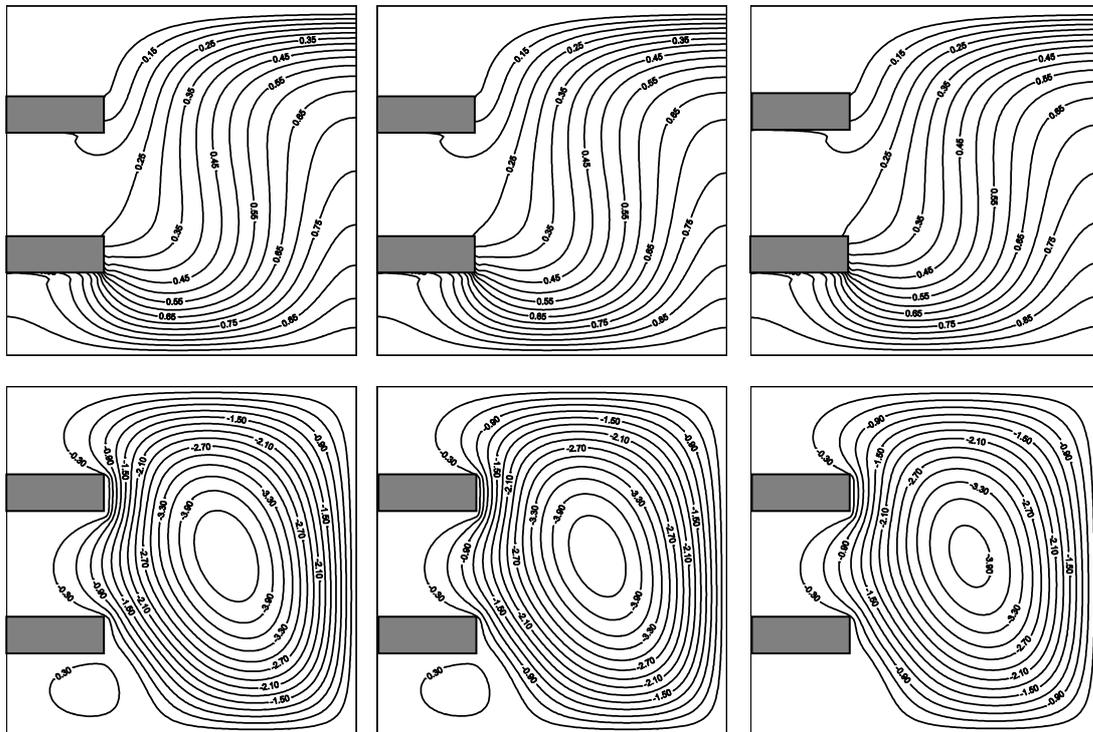
شكل (٣) تأثير تغير طول الحاجز السفلي على خطوط ثبوت درجات الحرارة ودالة الانسياب عند $Xp1=(0.3, 0.5, 0.7)$, $Yp1=0.3$, $Xp2=0.3$, $Yp2=0.7$, $Ra=300$, $Fs/Pr=0.01$



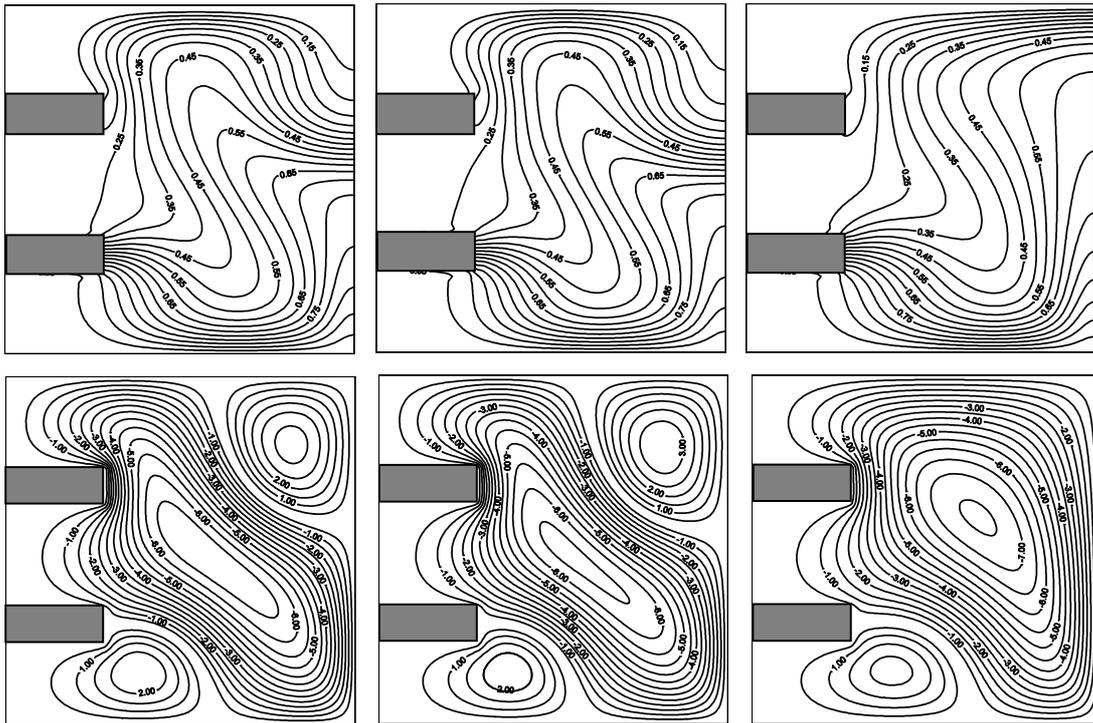
شكل (٤) تأثير طول الحاجزين العلوي والسفلي معاً على خطوط ثبوت درجات الحرارة ودالة الانسياب عند $Xp1=(0.3, 0.5, 0.7)$, $Yp1=0.3$, $Xp2=(0.3, 0.5, 0.7)$, $Yp2=0.7$, $Fs/Pr=0.01$, $Ra=300$



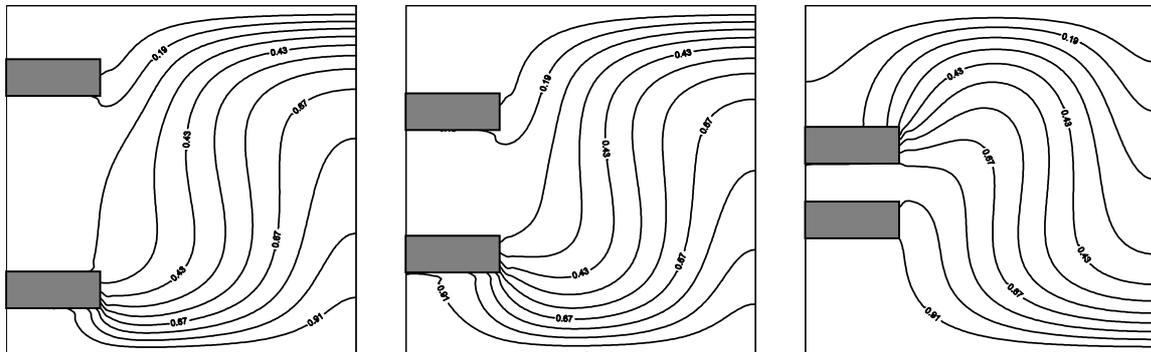
شكل (٥) تأثير عدد رالي على خطوط ثبوت درجات الحرارة ودالة الانسياب عند
 $Xp1=0.3, Yp1=0.3, Xp2=0.3, Yp2=0.7, Fs/Pr=0.01, Ra=(100,300,500)$



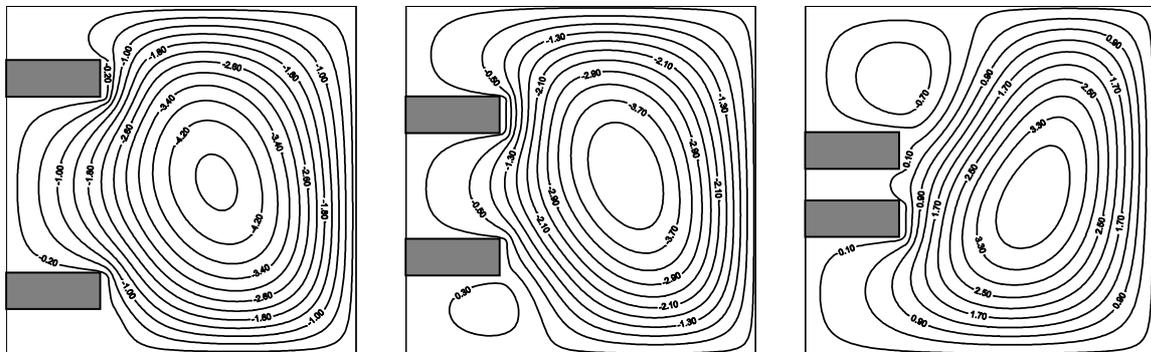
شكل (٦- أ) تأثير تغير قوى القصور الذاتي على خطوط ثبوت درجات الحرارة ودالة الانسياب عند
 $Xp1=0.3, Yp1=0.3, Xp2=0.3, Yp1=0.7, Ra=100, Fs/Pr=(0.01,0.001,0.0001)$



شكل (٦-ب) تأثير تغير قوى القصور الذاتي على خطوط ثبوت درجات الحرارة ودالة الانسياب عند $Xp1=0.3, Yp1=0.3, Xp2=0.3, Yp1=0.7, Ra=300, Fs/Pr=(0.01,0.001,0.0001)$

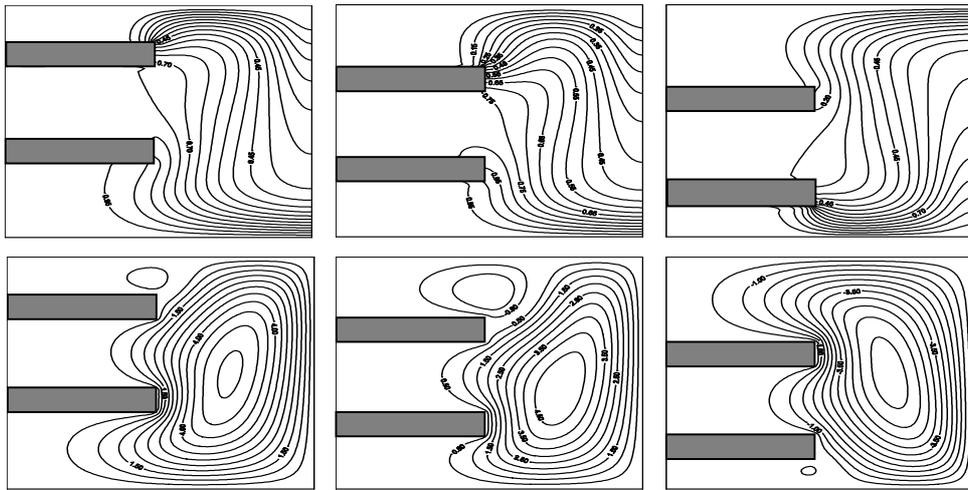


(أ)

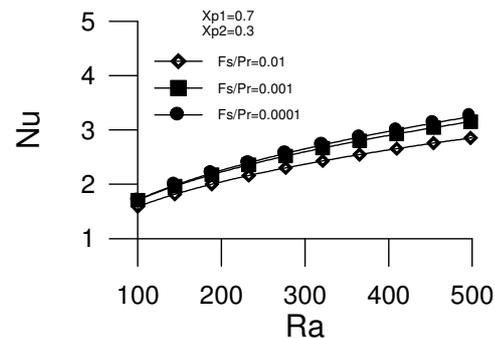
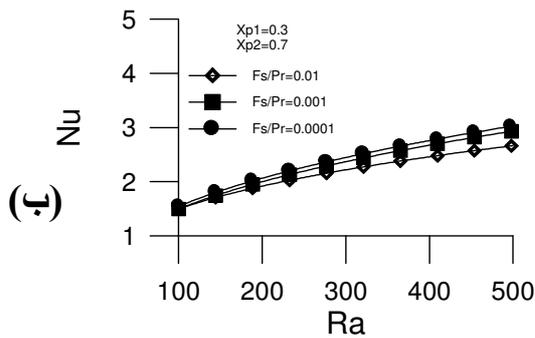
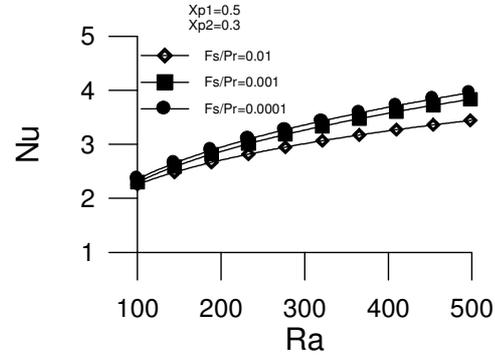
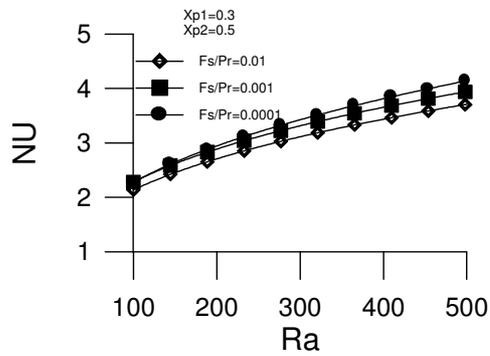
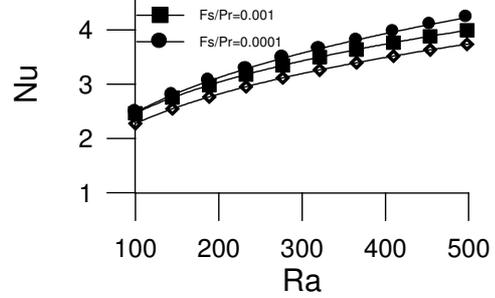
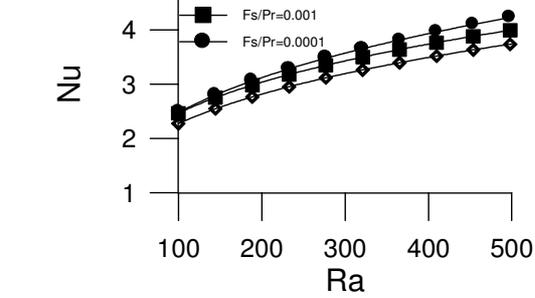


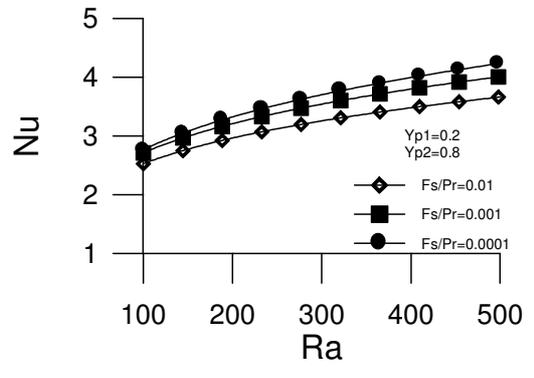
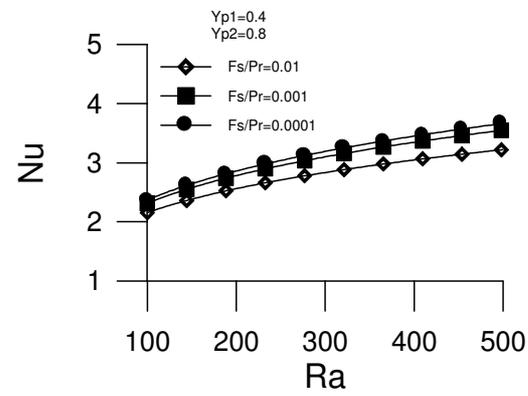
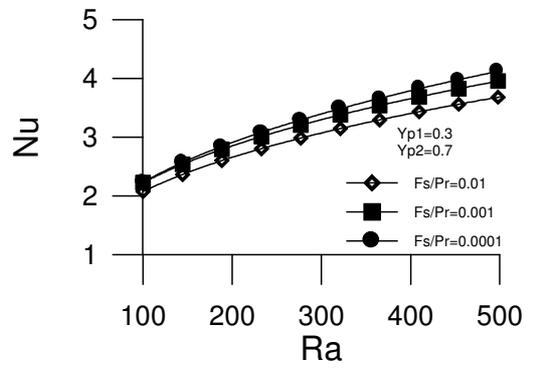
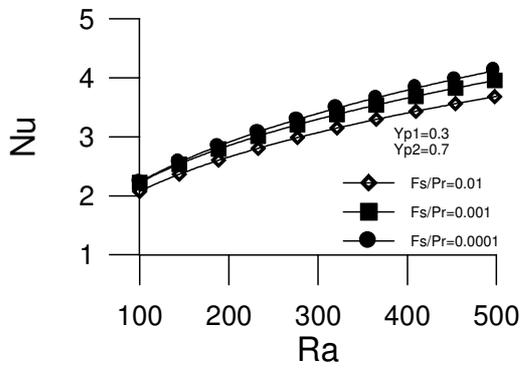
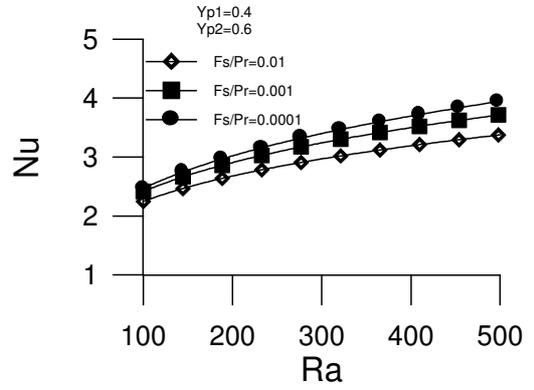
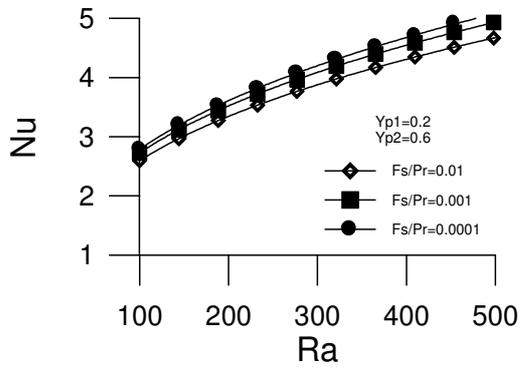
(ب)

شكل (٧) تأثير التباعد بين المقاطع على خطوط ثبوت درجات الحرارة ودالة الانسياب عند $Xp1=0.3, Xp2=0.3, Yp1=(0.2,0.3,0.4), Yp2=(0.4,0.6,0.8), Ra=100, Fs/Pr=0.0001$



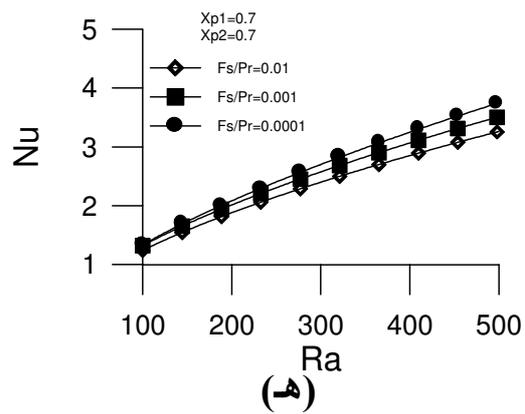
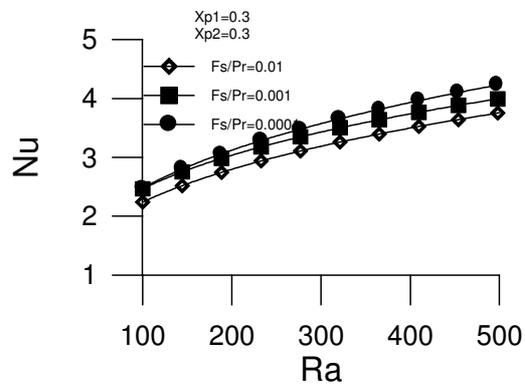
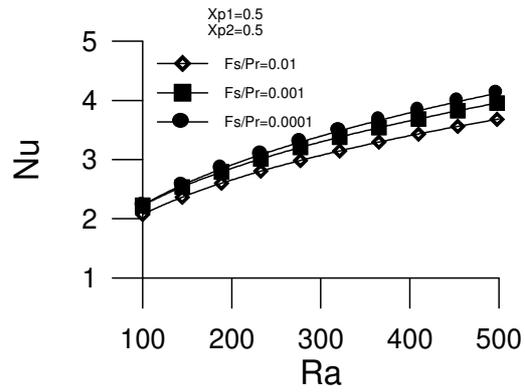
شكل (٨) تأثير موقع الحاجزين على خطوط ثبوت درجات الحرارة ودالة الاستجابة عند $X_{p1}=0.5, X_{p2}=0.3, Y_{p1}=(0.2,0.3,0.4), Y_{p2}=(0.6,0.75,0.8), F_s/Pr=0.01, Ra=200$





(د)

(ز)



شكل (٩) أ-ب-ج-د-هـ) يمثل تغيير عدد نسلت مع عدد رالي عند أطول حواجز ومواقع مختلفين وقوى قصور ذاتي مختلف