دراسة عددية لأنتقال الحرارة بالحمل المختلط داخل فجوة ذات غطاء متحرك+
NUMERICAL STUDY OF MIXED CONVECTION IN LID DRIVEN CAVITY

فارس علي بديوي*

المستخلص

تم في هذا البحث اجراء دراسة عددية لانتقال الحرارة بالحمل المختلط داخل فجوة مربعة ذات جدار سفلي متموج وجدار علوي متحرك. الجدران العمودية للفجوة معزولة

بينما الجدار السفلي المتموج ذو درجة حرارة منتظمة واعلى من درجة حرارة الجدار العلوي. تم التعبير عن المعادلات الحاكمة بدلالة الدوامية – دالة الانسياب والتي تم تحويلها من الصيغة التفاضلية المعقدة الى الصيغة الجبرية باستخدام طريقة الفروق المحددة . كذلك تم استخدام نظام مطابقة احداثيات الجسم لتحويل المعادلات من الاحداثيات الكارتيزية الى الاحداثيات العمومية. تم التاكد من نتائج البحث الحالي بالمقارنة مع نتائج البحوث السابقة وقد وجد ان نسبة التوافق جيدة بين النتائج. تمت دراسة تأثير كل من وعدد ريتشاردسون، عدد تموجات السطح السفلي للفجوة، وارتفاع موجة السطح الاسفل على كل من هيكل الجريان وانتقال الحرارة بالتفصيل .بينما تم اعتبار عدد براندتل ثابت عند القيمة (Pr = 0.71). بينت النتائج ان عدد نسلت الكلي يزداد مع زيادة كل من ارتفاع الموجة وعدد رينولدز، بينما يتم الحصول على اقصى انتقال للحرارة عندما يكون عدد موجات السطح السفلي اثنان وعدد ريتشاردسون قليل.

Abstract

The current numerical study is conducted to analyze mixed convection heat transfer in lid- driven cavity with a sinusoidal wavy bottom surface. The cavity vertical walls are insulated while the wavy bottom surface is maintained at a uniform temperature higher than the top lid. The governing equation was wrote in terms of stream- vorticity, then it was changed from the differential form to the algebraic by using finite difference method, also body fitted coordinate system was used to change the equation from the cartizian coordinate to the general coordinate. The validity of the numerical code used is ascertained by comparing the results with previously published results. The implications of Richardson number, number of wavy surface undulation and amplitude of the wavy surface on the flow structure and heat transfer characteristics are investigated in detail while the Prandtl number is considered equal to (Pr = 0.71).the results shows that the average Nusselt number increase with an

* مدرس مساعد / معهد التكنولوجيا – بغداد

increase in both the amplitude of the wavy surface and Reynolds number. Maximum heat transfer occurs when the wavy surface is designed with two undulations while subjected to low Richardson number.

قائمة الرموز Nomenclature

A	الارتفاع اللابعدي للسطح المتموج (سعة الموجة).
G	التعجيل الأرضي.
h	معامل انتقال الحرارة.
H	الطول الجانبي للفجوة.
k	التوصيل الحراري للمائع.
Nu	عدد نسلت.
P	الضغط اللابعدي.
Pr	عدد براندتل، (υ / α).
Re	عدد رينولدز، (U_oH / υ).
Ri	عدد ريتشاردسون، (Gr / Re^2).
T	درجة الحرارة.
S	طول الوتر الكلي للسطح المتموج.
u,v	مركبات السرعة على المحورين (x) و(y).
U,V	مركبات السرعة اللابعدية.
U_o	سرعة انزلاق السطح العلوي.
x,y	الإحداثيات الكارتيزية.
X,Y	الإحداثيات الكارتيزية اللابعدية.

الرموز الاغريقية Greek Symbol

α_e	الانتشارية الحرارية.
β_e	معامل التمدد الحجمي.
α, β, γ, J	معاملات التحويل الى نظام مطابقة احداثيات الجسم.
λ	عدد الموجات (تردد الموجة).
η, ζ	الاحداثيات العمومية اللابعدية.
ν	اللزوجة الكينماتية للمائع.
θ	درجة الحرارة اللابعدية $((T-T_{cold})/(T_{hot}-T_{cold}))$.
ρ	كثافة المائع.
Ω	الدوامية اللابعدية$(\omega H/U_o)$.
Ψ	دالة الانسياب اللابعدية(ψ/HU_o).

الرموز السفلية Subscript

cold	الجدار البارد
Hot	الجدار الساخن او الحار

المقدمة

حضي موضوع انتقال الحرارة بالحمل المختلط (الحر والقسري) وجريان المائع داخل الفجوات ذات الاسطح العلوية المتحركة (Lid-driven cavities) اهتماماً كبيراً من قبل الباحثين، نتيجة لاهميته في التطبيقات التكنولوجية الواسعة وكذلك التطبيقات الهندسية. من هذه التطبيقات، تبريد الاجهزة الالكترونية. تكنولوجيا التزييت. تكنولوجيا التجفيف. معالجة الاغذية. انتاج الزجاج بالطفو [١]. والجريان وانتقال الحرارة في البرك الشمسية [٢]، الجريان وانتقال الحرارة في المفاعلات النووية [٣]و الحركة في البحيرات [٤].

ان ظاهرة انتقال الحرارة والجريان الناتج من الطفو وقوى القص تمت دراستها بشكل وافي، اذ ان فهم ميكانيكية هذه القوى له اهمية كبيرة في الدراسات النظرية والعملية، الا ان مسالة الفجوة ذات السطح المتحرك اعتبرت كبداية لايجاد طرق الحل العددية والتي من خلالها يتم الوصول الى الحل النهائي والتفسير المقنع لميكانيكية انتقال الحرارة بالحمل في الاشكال الاعقد من الفجوات [٥-٩].

اظهرت الدراسات السابقة ان هناك جانبين تمت دراستهما وتحليلهما [١٠]، ان الجانب الاول يتمثل بدراسة كون الجدران الافقية متحركة و الجدار العلوي [١١-١٦]الجدار السفلي [١٧].كلا الجدارين [١٨-٢٠]. اما الجانب الاخر فتكون فيه الجدران العمودية للفجوة هي التي تتحرك بسرعة ثابتة[٢١-٢٣].

الجريان وانتقال الحرارة من السطوح غير المنتظمة تطبق في كثير من التطبيقات الهندسية لتحسين انتقال الحرارة مثل حالة الاجهزة الالكترونية الدقيقة و المجمعات الشمسية ذات الصفيحة المستوية، والمكثفات ذات الصفائح المستوية الموجودة في الثلاجات [٢٤]، وفي التطبيقات الارض – حرارية (geophysical) (الحركة والجريان داخل القشرة الارضية) [٢٥]، انظمة الكيبلات الارضية، وانظمة التبريد للاجهزة اللالكترونية الدقيقة. بالاضافة الى ذلك فان السطوح الخشنة او المتموجة يمكن استخدامها في تبريد الاجهزة والمعدات الكهربائية والنووية عندما يكون مقدار الفيض الحراري معلوم في هذه الاجهزة . لذلك يمكن القول ان التموج في السطوح يتم عمله لتحسين انتقال الحرارة.

من الجدير بالذكر ان اغلب الدراسات السابقة على الفجوات ذات الجدران المتموجة اهتمت بدراسة انتقال الحرارة منها بالحمل فقط. مثال على ذلك، ماقام به كل من [٢٥]من دراسة عددية لانتقال الحرارة من فجوة لها جدران افقية متموجة وجدران عمودية اديباتية مستوية، كذلك فان [٢٦] درسوا انتقال الحرارة بالحمل من فجوة مائلة ذات جدار متموج ساخن، وقد استنتج الباحثون ان الجدار المتموج يؤثر على الجريان وانتقال الحرارة داخل الفجوة من خلال تقليل عدد نسلت الموضعي بالمقارنة مع فجوة مربعة ذات جدران مستوية.

اما [٢٧] فقد درس الجريان والمجال الحراري داخل فجوة عمودية ذات جدار متموج ومملؤة بوسط مسامي وقد وجد ان درجة حرارة السطح تتأثر كثيرا بعدد تموجات السطح وارتفاعها.

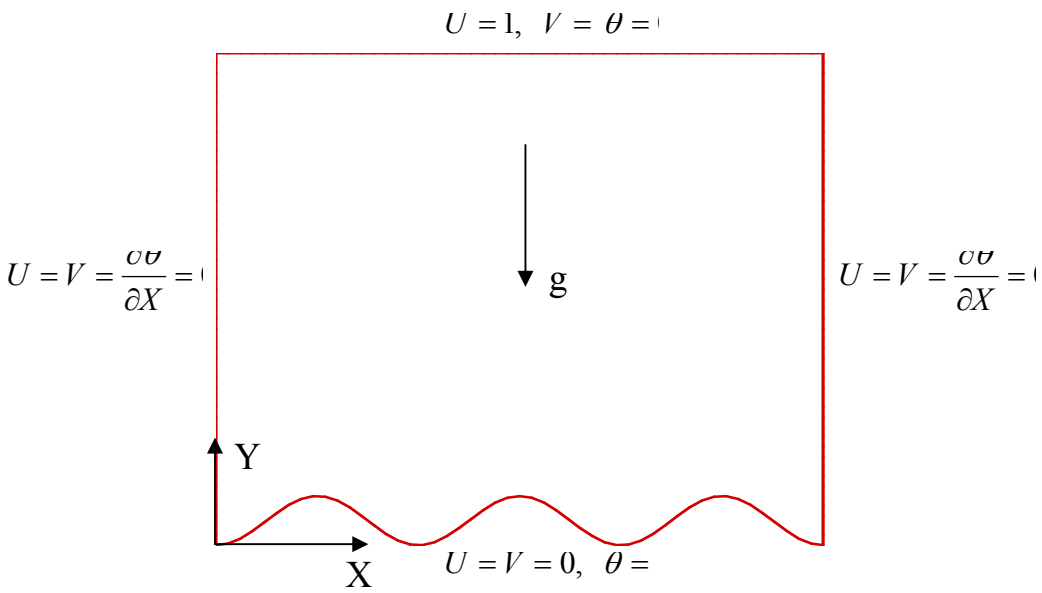
استعراض البحوث السابقة اظهر ان هناك القليل من الدراسات التي تهتم بدراسة تاثير التعقيد

الموجود في الاشكال (الجدار المتموج) على عمليات نقل الطاقة والزخم عن طريق انتقال الحـــرارة بالحمـــل المختلط. القناة ذات الجدران المتموجة هي احد الادوات المستخدمة في تحسين انتقال الحرارة فـــي عمليـــات النقل الصناعية. اذ ان اول من قدّم دراسة للجريان اللزج في القنوات المتوجه هما [٢٨] بينما استخدم كـــل من [٢٩] تقنية النفثالين لقياس عدد نسلت الموضعي والكلي في قناة ذات جدار متموج، الباحثان [٣٠] قدما دراسة عملية لايجاد معاملات انتقال الحرارة بالحمل القسري ومعاملات الاحتكاك للجريان في قناة متموجـــة لاعداد رينولدز (بالاعتماد على القطر الهيدروليكي) من (١٥٠٠ الى ٢٥٠٠٠) وعدد براندتل من (٤-٨) وقد وجد الباحثان ان التحسين في انتقال الحرارة كان اكثر بمرتين ونصف من الحالة الكلاسيكية والمتمثلة بقنـــاة ذات جدران متوازية. اخيرا قام كل من [٣١] بدراسة انتقال الحرارة بالحمل القسري في قنـــاة ذات جـــدار متموج وقد اظهرت النتائج تأثيركل من تموج الجدار و عددي رينولدز وبراندتل على معامل الاحتكاك وعدد نسلت. و استنتجا ان مقدار كل من معامل الاحتكاك وعدد نسلت يزداد بزيادة نسبة ارتفاع الموجة الى طولها.

بعد الاطلاع على البحوث المقدمة في هذا المجال لم يتطرق الباحثون الى دراســـة حالـــة انتقـــال الحرارة بالحمل المختلط والجريان داخل فجوة بسطح متحرك علوي وجدار اسفل متموج ساخن. لذلك فـــأن الهدف من البحث الحالي هو دراسة انتقال كل من الطاقة والزخم في فجوة بجدار متحرك علوي واخر سفلي متموج مسخّن. اذ ان الفجوة تكون تحت انحدار درجة حرارة عمودي ناتج من كون درجة حـــرارة الجـــدار الافقي السفلي اعلى من درجة حرارة الجدار العلوي. تم تمثيل النتائج بخطوط تساوي دالة الانسياب ودرجـــة الحرارة وبالاعتماد على متغيرات لابعدية ذات صلة بالموضوع وهي عدد ريتشاردسون و ارتفـــاع الموجـــة للسطح المتموج (A) وعدد التموج للسطح (λ) وقد تم اخيرا الحصول على التدفق الحراري الموضعي وعدد نسلت الكلي.

التحليل الرياضي

الشكل (١) يبين النظام الفيزيائي المستخدم في البحث الحالي والذي يصف فجوة مربعة ثنائية البعد ذات جدار جانبي بارتفاع قيمة (H). الجدران العمودية تم فرضها غير نافذة بينما الجدران الافقية تكون عنـــد درجـــات حرارة ثابتة لكن مختلفة و ان درجة حرارة الجدار الاسفل هي (T_{hot}) ودرجة حـــرارة الجـــدار العلـــوي (T_{cold}) في كل الاحوال فان ($T_{hot}>T_{cold}$).



الشكل (١) مخطط توضيحي للفجوة المربعة مع الشروط الحدية للمسألة.

الجدار العلوي يتحرك من اليسار الى اليمين بسرعة ثابتة مقدارها (Uo). المائع تم فرضه خاضعا لقانون نيوتن للزوجة وغير انضغاطي وبجريان طباقي في منطقة الحمل المختلط. خواص المائع ثابتة ما عدا تغير الكثافة الذي عُومِل بالاعتماد على تقريب بوسينسيك، بينما تاثير الضياعات الناتجة من اللزوجة مهملة. الجريان اللزج غير الانضغاطي وتوزيع درجة الحرارة داخل الفجوة يوصف بمعادلات نافير– ستوك ومعادلة الطاقة على التوالي[25].

المعادلات الحاكمة تم تحويلها الى شكلها اللابعدي بالاعتماد على المتغيرات اللابعدية التالية:

$$(X,Y)=\frac{(x,y)}{H},\quad (U,V)=\frac{(u,v)}{Uo},\quad \theta=\frac{T-T_{cold}}{T_{hot}-T_{cold}} \qquad \dots (1)$$

اذ ان (X,Y) هي الاحداثيات اللابعدية والمقاسة على طول المحورين الافقي والعمودي على التوالي، (u,v) يمثلان مركبات السرعة البعدية على طول المحاور (x,y)، (θ) تمثل درجة الحرارة اللابعدية.

اذ يمكن كتابة المعادلات الحاكمة اللابعدية للحالة المستقرة بالشكل التالي:

$$\frac{\partial U}{\partial X}+\frac{\partial V}{\partial Y}=0 \qquad \dots (2)$$

$$U\frac{\partial U}{\partial X}+V\frac{\partial U}{\partial Y}=\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial Y^2}\right)+\frac{Gr}{\mathrm{Re}^2}\theta-\frac{1}{\mathrm{Re}}\frac{\partial P}{\partial X} \qquad \dots (3)$$

$$U\frac{\partial V}{\partial X}+V\frac{\partial V}{\partial Y}=\frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial Y^2}\right)+\frac{Gr}{\mathrm{Re}^2}\theta-\frac{1}{\mathrm{Re}}\frac{\partial P}{\partial Y} \qquad \dots (4)$$

$$U\frac{\partial \theta}{\partial X}+V\frac{\partial \theta}{\partial Y}=\frac{1}{\mathrm{Pr}\,\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2}\right) \qquad \dots (5)$$

ان (P) هو الضغط اللابعدي، (Pr) عدد براندتل ، ($\mathrm{Re}=UoH/\nu$) عدد رينولدز مع (ν) معبرة عن اللزوجة الكينماتية. قوة انحدار درجة الحرارة معطاة من خلال عدد كراشوف (Gr) والمعّرف بالمعادلة التالية:

$$Gr=\frac{g\beta(T_{hot}-T_{cold})H^3}{\nu^2} \qquad \dots (6)$$

حيث ان (g) هو التعجيل الارضي، (β) معامل التمدد الحجمي.

من الجدير بالذكر أن المعادلات الحاكمة اعلاه مكونة من خليط من معادلات قطع ناقص ومكافئ (Elliptic & Parabolic) والتي يتم حلها آنيا بالاعتماد على طريقة المتغيرات الاساسية (Primitive

.(Variables

شكل الجدار الاسفل المتموج تم فرض مساره حسب المعادلة:

$$Y = A\left[1 - \cos(2\lambda\pi X)\right] \quad \dots (7)$$

حيث ان (A) ارتفاع الموجة اللابعدي للسطح المتموج، (λ) عدد التموجات.

تعريف المسألة الحالية يكّمل من خلال تطبيق الشروط الحدية والتي يمكن تلخيصها بالمعادلات التالية:

$$\begin{aligned}
&U = V = 0, && \theta = 1 && \text{at} && \mathrm{Y} = 0, && 0 < \mathrm{X} < 1 \\
&U = 1,\ V = 0, && \theta = 0 && \text{at} && \mathrm{Y} = 1, && 0 < \mathrm{X} < 1 \\
&U = V = 0, && \frac{\partial\theta}{\partial X} = 0 && \text{at} && \mathrm{X} = 0, && 0 \le \mathrm{Y} \le 1 \\
&U = V = 0, && \frac{\partial\theta}{\partial X} = 0 && \text{at} && \mathrm{X} = 1, && 0 \le \mathrm{Y} \le 1
\end{aligned} \quad \dots (8)$$

تم تطبيق طريقة دالة الانسياب الدوامية بحيث ان:

$$U = \frac{\partial\Psi}{\partial Y}, \quad V = -\frac{\partial\Psi}{\partial X}, \quad \Omega = \frac{\partial V}{\partial X} - \frac{\partial U}{\partial Y} \dots \quad (9)$$

$$\Omega = -\left(\frac{\partial^2\Psi}{\partial X^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial Y^2}\right) \quad \dots (10)$$

حيث ان (Ω) و (Ψ) يمثلان الدوامية ودالة الانسياب اللابعديتان على التوالي والمعّرفان بالمعادلة:

$$\Omega = \frac{\omega H}{Uo}, \quad \Psi = \frac{\psi}{\mathrm{HUo}} \quad \dots (11)$$

حيث ان (ω) هي الدوامية البعدية و(Ψ) دالة الانسياب البعدية. حيث باستخدام طريقة دالة الانسياب الدوامّية يمكننا تحويل معادلات نافير–ستوك الى معادلة واحدة من النوع القطع الناقص (Elliptic) واخرى قطع مكافئ (Parabolic) بعد ذلك يتم حلهما على نحو متعاقب لذلك فان المعادلات الحاكمة اللابعدية يمكن توضيحها رياضيا بالشكل التالي:

$$\left(U\frac{\partial\Omega}{\partial X} + V\frac{\partial\Omega}{\partial Y}\right) = \frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2\Omega}{\partial X^2} + \frac{\partial^2\Omega}{\partial Y^2}\right) + Ri\left(\frac{\partial\theta}{\partial X}\right) \quad \dots (12)$$

$$\left(U\frac{\partial\theta}{\partial X} + V\frac{\partial\theta}{\partial Y}\right) = \frac{1}{\mathrm{Pr}\,\mathrm{Re}}\left(\frac{\partial^2\theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2\theta}{\partial Y^2}\right) \quad \dots (13)$$

حيث ان ($Ri = Gr/\mathrm{Re}^2$) يمثل عدد ريتشاردسون (Ritchardson Number).

في البحث الحالي مدى عدد ريتشاردسون (Ri) كان ($0.01 \le \mathrm{Ri} \le 10$)، بينما عددي برانـدتل وكراشوف اعتبرا ثابتين وعند القيم ($\mathrm{Pr} = 0.71$) و($\mathrm{Gr} = 10^4$) على التوالي.

١. <u>نظام مطابقة احداثيات الجسم Body Fitted Coordinates System (BFC)</u>

بسبب التعقيد الموجود في الشكل الفيزياوي لكون الجدار الاسفل متموجا لذلك تم توليد شبكة العقد في البحث الحالي باستخدام الطريقة الجبرية (Algebraic Method).

وتم تحويل المعادلات الحاكمة (13,12,10) من احداثياتها الكارتيزية (x,y) الى الاحداثيات

العمودية باستخدام قاعدة السلسلة (Chain rule).[32]

اذ يمكن كتابة المعادلات (13,12,10) بصيغتها الجديدة بالشكل التالي:

$$\alpha\frac{\partial^2\Psi}{\partial\eta^2}-2\beta\frac{\partial^2\Psi}{\partial\eta\partial\zeta}+\gamma\frac{\partial^2\Psi}{\partial\zeta^2}=-J^2\Omega \qquad \dots (14)$$

$$\frac{1}{J}\left(\frac{\partial\Omega}{\partial\eta}\frac{\partial\Psi}{\partial\zeta}-\frac{\partial\Omega}{\partial\zeta}\frac{\partial\Psi}{\partial\eta}\right)=\frac{1}{J^2\,\mathrm{Re}}\left(\alpha\frac{\partial^2\Psi}{\partial\eta^2}-2\beta\frac{\partial^2\Psi}{\partial\eta\partial\zeta}+\gamma\frac{\partial^2\Psi}{\partial\zeta^2}\right)+\frac{Ri}{J}\left(\frac{\partial Y}{\partial\eta}\frac{\partial\theta}{\partial\zeta}-\frac{\partial Y}{\partial\zeta}\frac{\partial\theta}{\partial\eta}\right) \qquad \dots (15)$$

$$\frac{1}{J}\left(\frac{\partial\theta}{\partial\eta}\frac{\partial\Psi}{\partial\zeta}-\frac{\partial\theta}{\partial\zeta}\frac{\partial\Psi}{\partial\eta}\right)=\frac{1}{J^2\,\mathrm{Re}\,\mathrm{Pr}}\left(\alpha\frac{\partial^2\theta}{\partial\eta^2}-2\beta\frac{\partial^2\theta}{\partial\eta\partial\zeta}+\gamma\frac{\partial^2\theta}{\partial\zeta^2}\right) \qquad \dots (16)$$

حيث ان:

$$\alpha=\frac{\partial^2X}{\partial\zeta^2}+\frac{\partial^2Y}{\partial\zeta^2} \qquad \dots (17a)$$

$$\beta=\frac{\partial X}{\partial\eta}\frac{\partial X}{\partial\zeta}+\frac{\partial Y}{\partial\eta}\frac{\partial Y}{\partial\zeta} \qquad \dots (17b)$$

$$\gamma=\frac{\partial^2X}{\partial\eta^2}+\frac{\partial^2Y}{\partial\eta^2} \qquad \dots (17c)$$

$$J=\frac{\partial Y}{\partial\eta}\frac{\partial X}{\partial\zeta}+\frac{\partial X}{\partial\eta}\frac{\partial Y}{\partial\zeta} \qquad \dots (17d)$$

كذلك فأن معادلتي السرعة الافقية و العمودية يمكن اعادة كتابتها بالشكل التالي:

$$U=\frac{1}{J}\left(-\frac{\partial X}{\partial\eta}\frac{\partial\Psi}{\partial\zeta}+\frac{\partial\Psi}{\partial\eta}\frac{\partial X}{\partial\zeta}\right) \qquad \dots (18)$$

$$V=\frac{1}{J}\left(-\frac{\partial Y}{\partial\eta}\frac{\partial\Psi}{\partial\zeta}+\frac{\partial\Psi}{\partial\eta}\frac{\partial Y}{\partial\zeta}\right) \qquad \dots (19)$$

بعد ذلك تم حساب نسبة انتقال الحرارة من السطح الاسفل المتموج والمعّرف بعدد نسلت الموضعي (Nu) والمعطى بالمعادلة:

$$Nu=\frac{hH}{k}=-\frac{\partial\theta}{\partial n}H \qquad \dots (20)$$

اذ ان (h) تمثل معامل انتقال الحرارة بالحمل و (k) الموصلية الحرارية و (n) الاحداثي العمــودي على السطح.

اما عدد نسلت الكلي ($\overline{Nu}$) فقد تم حسابه من خلال تكامل عدد نسلت الموضعي (Nu) على طول السطح السفلي المتموج باستخدام قاعدة سمبسون والمعادلة المعّرفة لعدد نسلت الكلي يمكن كتابتها بالشكل التالي:

$$\overline{Nu} = \frac{1}{S}\int_0^S Nu \ \mathrm{ds} \qquad \ldots (21)$$

حيث ان (S) تمثل طول الوتر الكلي للسطح المتموج و(s) هو الاحداثي على طول السطح المتموج.

٢. الحل العددي Numerical Solution

تم تحويل المعادلات الحاكمة من صيغتها التفاضلية المعقدة الى معادلات خطية جبرية بسيطة باستخدام طريقة الفروق المحددة اذ تم حل معادلة دالة الانسياب وهي معادلة قطع ناقص باستخدام طريقة التكرار النقطي المفرط التراخي (Successful the over relaxation method (LSOR))، يمكن كتابة المعادلة الدوامية والطاقة بالصيغة العمومية التالية:

$$J\left(\frac{\partial \Psi}{\partial \eta}\frac{\partial \phi}{\partial \zeta} - \frac{\partial \Psi}{\partial \zeta}\frac{\partial \phi}{\partial \eta}\right) = \Gamma\left(\alpha\frac{\partial^2 \phi}{\partial \eta^2} - 2\beta\frac{\partial^2 \phi}{\partial \eta \partial \zeta} + \gamma\frac{\partial^2 \phi}{\partial \zeta^2}\right) + J^2 S_\phi \ldots (22)$$

حيث ان (ϕ) تمثل اما قيمة الدوامية او درجة الحرارة، اما (Γ) فهو عبارة عن متغير تتغير قيمته حسب المعادلات، و (S_ϕ) تمثل حد المصدر و قيم المتغيرات (S_ϕ،Γ،ϕ) يمكن تلخيصها حسب المعادلات الحاكمة في الجدول (١).

جدول (١)

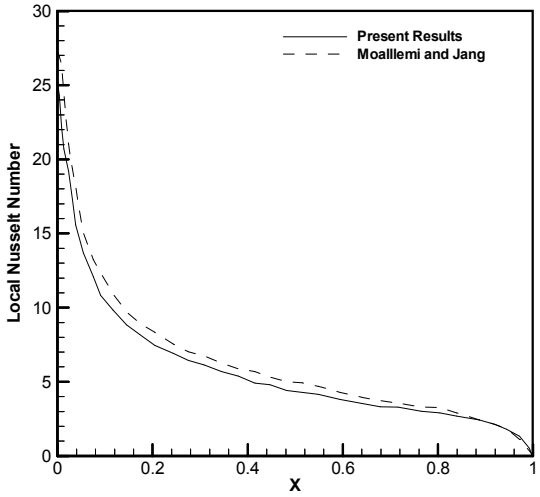
رقم المعادلة	ϕ	Γ	S_ϕ
(١٥)	ω	1/Re	Ri
(١٦)	θ	1/RePr	0.0

٣. النتائج والمناقشة Results and discussion

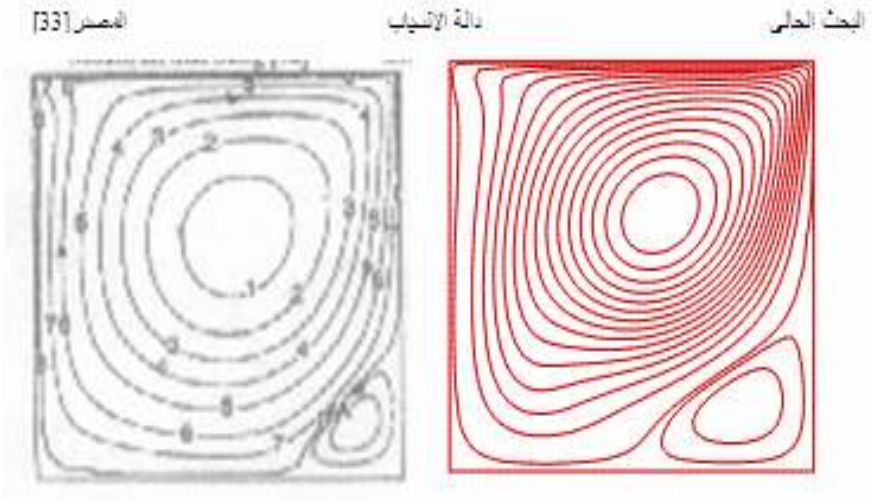
خصائص الجريان ومجال درجة الحرارة داخل فجوة ذات سطح علوي متحرك تم دراستها من خلال ايجاد تاثير كل من عدد ريتشاردسون (Ri) وعدد تموجات السطح (λ)، وارتفاع الموجه (A) للسطح السفلي المتموج. وقد تمت دراسة تاثير هذه المتغيرات للحالة المستقرة على توزيع دالة الانسياب ودرجة الحرارة بالاضافة الى تدفق الحرارة الموضعي وعدد نسلت الكلي. في الدراسة العددية الحالية تم استخدام المديات التالية للمتغيرات التي تم توضيحها في اعلاه ($0.01 \le Ri \le 10$)، ($0 \le \lambda \le 3$)، ($0 \le A \le 0.075$)، بينما عددي براندتل وكراشوف اعتبرا ثابتين وعند القيم ($Pr = 0.71$) و($Gr = 10^4$) على التوالي.

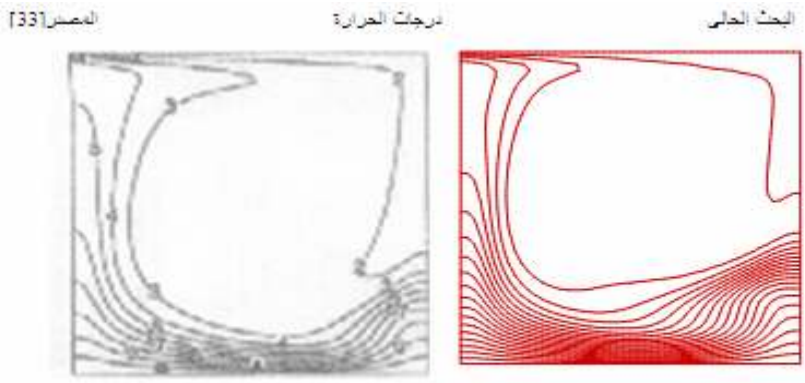
في البداية تم التاكد من نتائج البحث الحالي من خلال مقارنة نتائج الحل العددي مع نتائج البحث [33] لحالة تغير عدد نسلت مع الاحداثي الافقي (x) عند السطح العلوي، الشكل (٢) يبين نتائج المقارنة حيث

يمكن ملاحظة التقارب الجيد بين النتائج مما يؤكد صحة الحل العددي المستخدم في البحث الحالي.



الشكل (٢-A) مقارنة نتائج البحث الحالي مع المصدر [33].

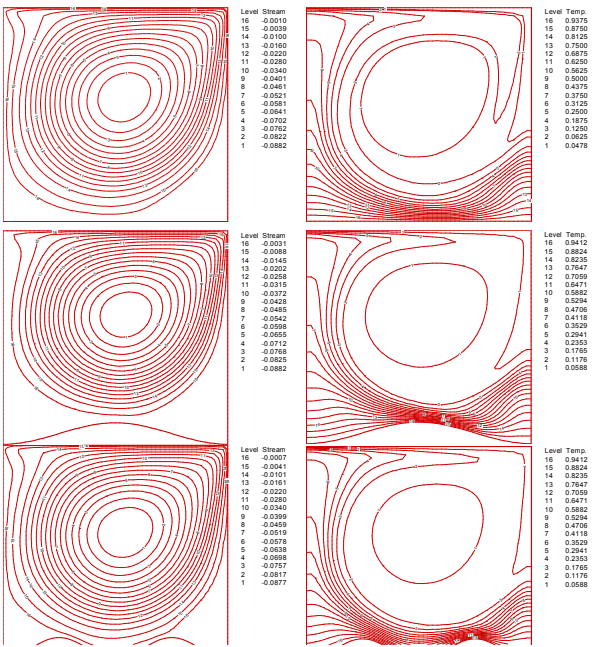




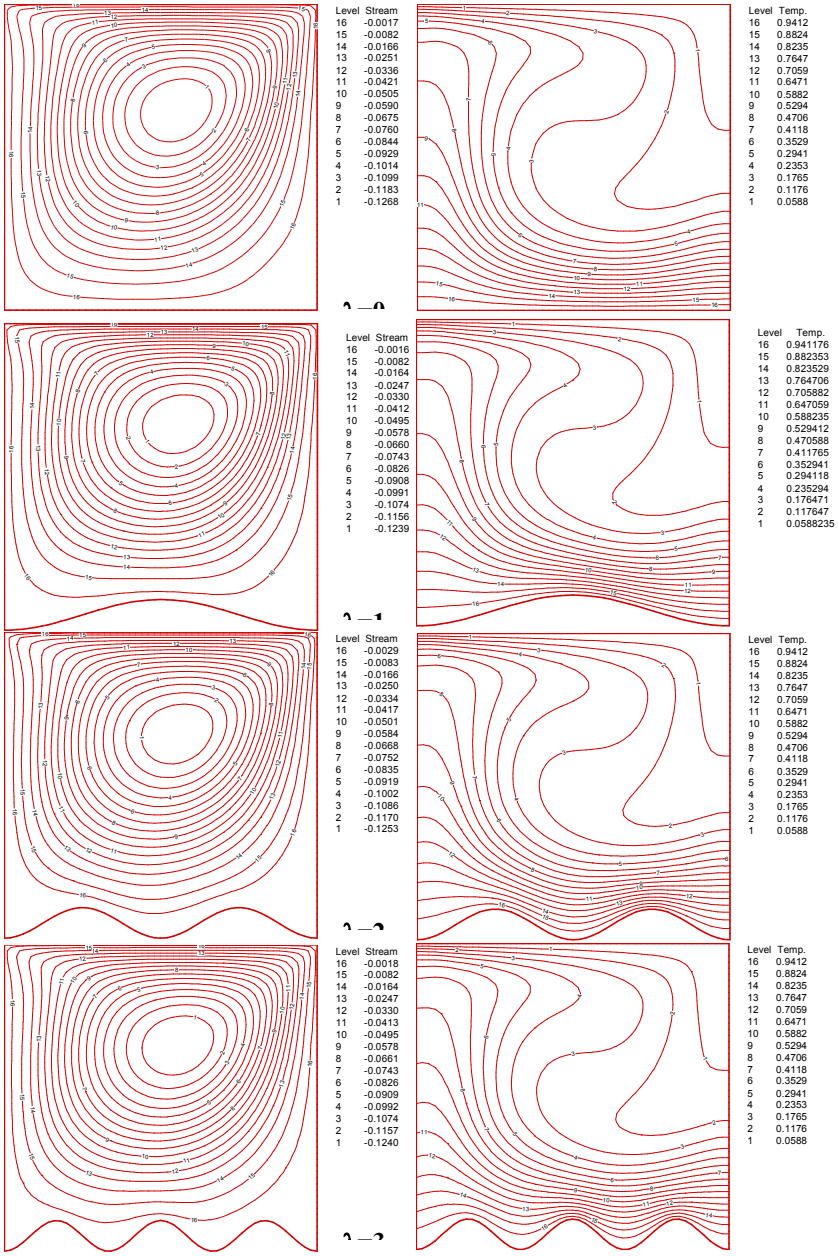
الشكل(2-B) مقارنة الخطوط الكنتورية لدالة الانسياب ودرجة الحرارة لنتائج البحث الحالي مع المصدر [33]

تمت دراسة تاثير عدد ريتشاردسون (Ri) على كل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة لقيم مختلفة من عدد الموجات (λ) والموضحة في الاشكال (٣ الى ٥) لقيمة (A= 0.05). عدد ريتشاردسون يعطي مقياسا لاهمية قوى الحمل الحراري الحر الى تلك الناتجة من الحمل القسري. المدى الذي تم اعتباره لعدد ريتشاردسون هو ($0.01 \leq Ri \leq 10$) والتي تغطي معظم الحالات للتطبيقات الهندسية والصناعية.

عند (Ri = 0.01)، الشكل العام لدالة الانسياب ودرجة الحرارة تشابه الحالة التقليدية للفجوات ذات الاسطح المساقة ميكانيكيا والتي تتميز بدوامة اولية تدور باتجاه عقرب الساعة وتشغل كل حيز الفجوة. بالاضافة الى ذلك فان الدومات الاصغر سوف تتشكل عند الزوايا السفلية للفجوة عند زيادة عدد الخطوط الكنتورية. بينما تتشكل طبقة متاخمة اقل سمكا بالقرب من السطح السفلي وهذا يعزى الى زيادة الاسهام الذي تقدمه ميكانيكية الحرارة المنتقلة بالحمل الحر والمسببة لتوليد انحدار شديد في درجة الحرارة بالقرب من الجدار السفلي كما هو موضح بالشكل (٣).

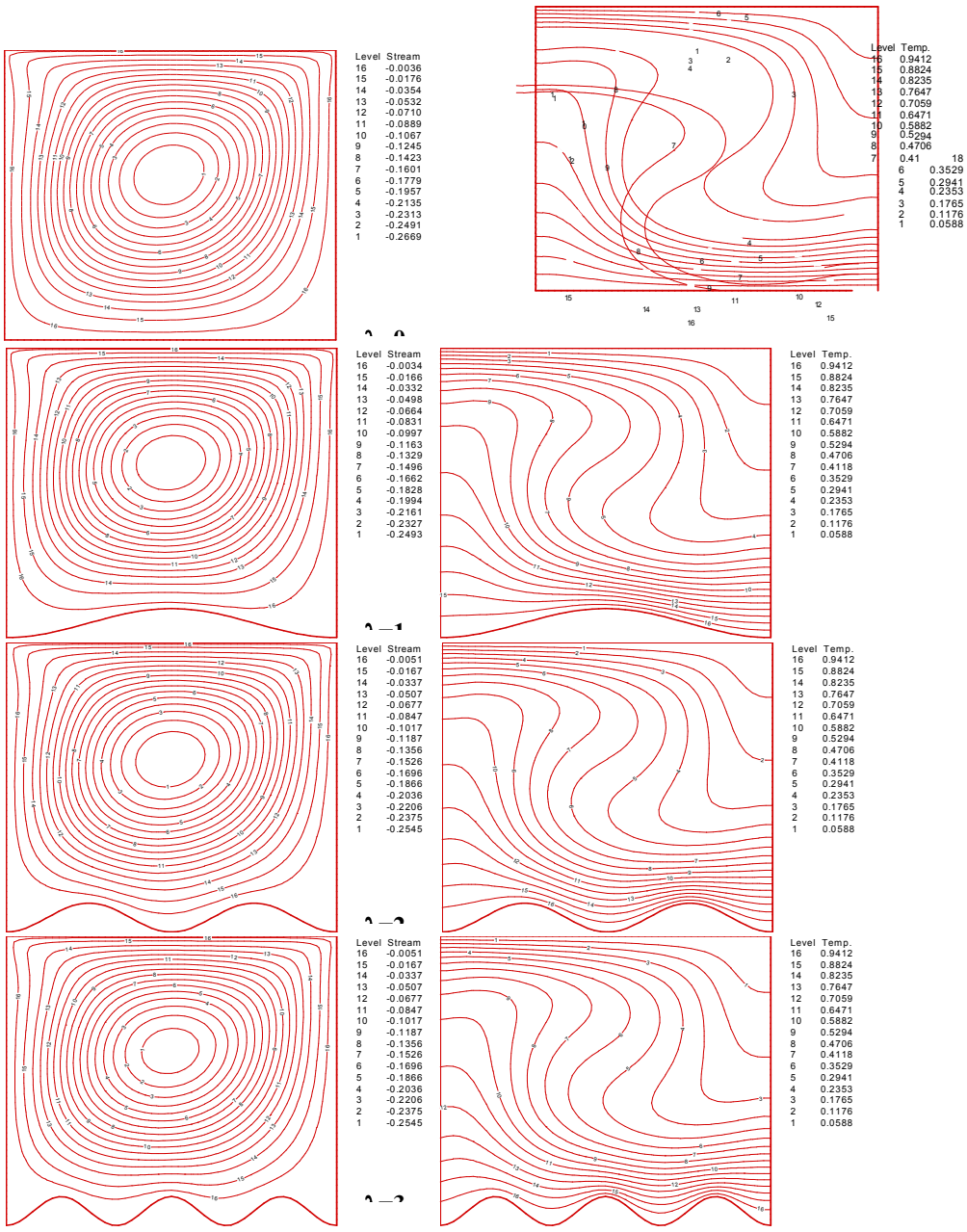


اما بالنسبة لكل حيز الفجوة فان الفروقات في درجات الحرارة قليلة جدا أي بمعنى اخر ان انحـــدار درجات الحرارة ضعيف نتيجة لتاثير الحركة الميكانيكية الناتجة من السطح المتحرك. عند زيادة (Ri) الى ان يصل الى (Ri=1.0) فأن تاثير قوة الطفو يكون مساو لتاثير الجدار العلوي المتحرك وبالتـــالي فـــان انتقـــال الحرارة الكلي في الفجوة مسيطر عليه من قبل ميكانيكية مشتركة للحمل القسري والحر كما هو واضح مـــن الشكل (٤).



الشكل (٤) تأثير زيادة عدد موجات السطح الاسفل للفجوة على كل من دالة الانسياب و درجة الحرارة عند ($Gr= 10^4$ ،Ri= 1).

اما زيادة عدد (Ri) الى (Ri=10) فتؤدي الى زيادة تاثير قوى الطفو على الحركة داخل الفجوة حيث تصبح اقوى من تاثير الجدار المتحرك كما هو واضح من الشكل (٥) اذ يتم نقل طاقة اقل بعيداً عن السطح العلوي المتحرك الى داخل الفجوة.



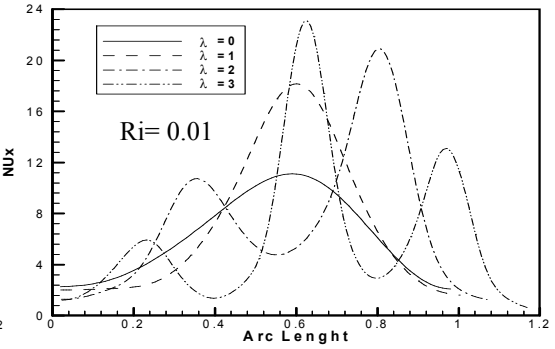
الشكل (٥) تأثير زيادة عدد موجات السطح الاسفل للفجوة على كل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة عند ($Gr= 10^4$, $Ri= 10$).

تبين الاشكال (3-5) تغير عدد التموجات من (0) الى (3) لايؤثر على الشكل الكلي لدالة الانسياب ودرجة الحرارة ماعدا المنطقة القريبة من السطح السفلي اذ ان الخطوط الكنتورية في هذه المنطقة تشابه مسار السطح المتموج.

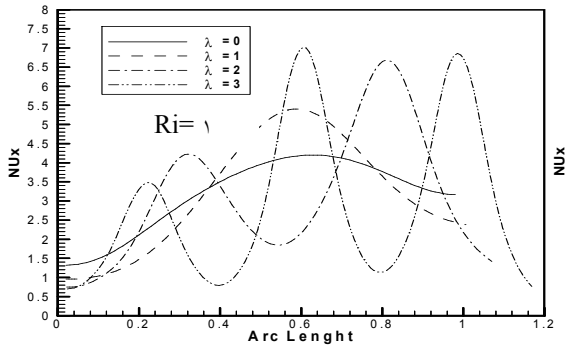
تأثير كل من عدد ريتشاردسون (Ri) وعدد تموجات السطح السفلي الساخن على تدفق الحرارة اللابعدي (عدد نسلت) تم تمثيله بالاشكال (6-8) عند قيمة سعة موجة ($A = 0.05$) وعدد كراشوف ($Gr = 10^4$).

من الملاحظ ان زيادة عدد تموجات السطح ($\lambda \geq 0$) تؤثر على انتقال الحرارة من خلال تكـوين تصرف موجّي (لعدد نسلت) عند كل قيمة من (Ri). اذ تزداد القيم بزيادة مقابلة لقيمة عدد تموجات السطح على طول السطح السفلي، اما زيادة عدد (Ri) فأنها تؤدي الى التقليل من قيمة عدد نـسلت مـع الاحتفـاظ بالشكل الموجي لانتقال الحرارة، اقصى قيمة لعدد نسلت الموضعي يتم الحصول عليهـا عنـد (Ri = 0.01) بسبب الزيادة الحاصلة في انتقال الحرارة نتيجة لحركة السطح العلوي.

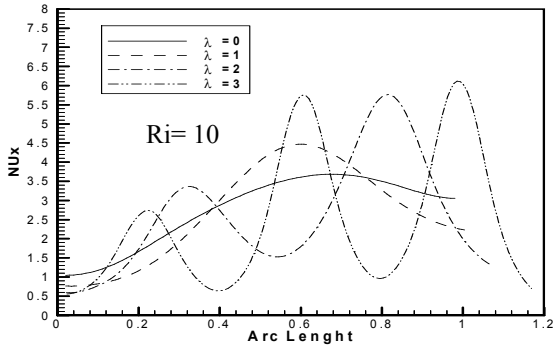
الشكل (9) يبين تأثير عدد تموجات السطح السفلي المسخّن على عدد نـسلت الكلـي ($\overline{Nu}$) لقـيم مختلفة من عدد (Ri)، اذ ان عدد نسلت الكلي يزداد مع نقصان عدد (Ri) كذلك فان عدد نسلت الكلي يكون ثابت المقدار بزيادة (λ) عند اعداد (Ri) العالية ومتقاربة القيم عند (Ri=1&10). زيادة كبيـرة نوعـاً مـا تحصل لقيمة عدد نسلت الكلي عند قيمة (Ri=0.01) نتيجة لعملية انتقال الطاقة الكلي. الشي المميز عند قيمة (Ri=0.01) هو قيمة المنحنى لقيمة عدد نسلت الكلي عند ($\lambda = 2$) مما تعكس اقصى قيمة لتـدفق الحـرارة الموضعي كما تم توضيحه في الشكل (6) سابقاً.



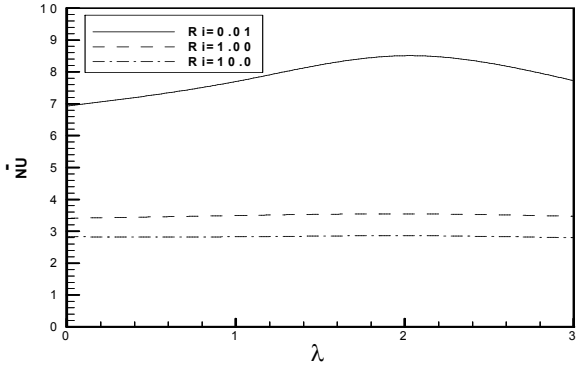
الشكل (6) تأثير زيادة عدد موجات السطح الاسفل للفجوة على عدد نسلت الموضعي (Nu_x) عند ($Gr= 10^4$, A= 0.05, Ri= 0.01).



الشكل (٧) تأثير زيادة عدد موجات السطح الاسفل للفجوة على عدد نسلت الموضعي (Nu_x) عند ($Gr= 10^4$, A= 0.05, Ri= 1).

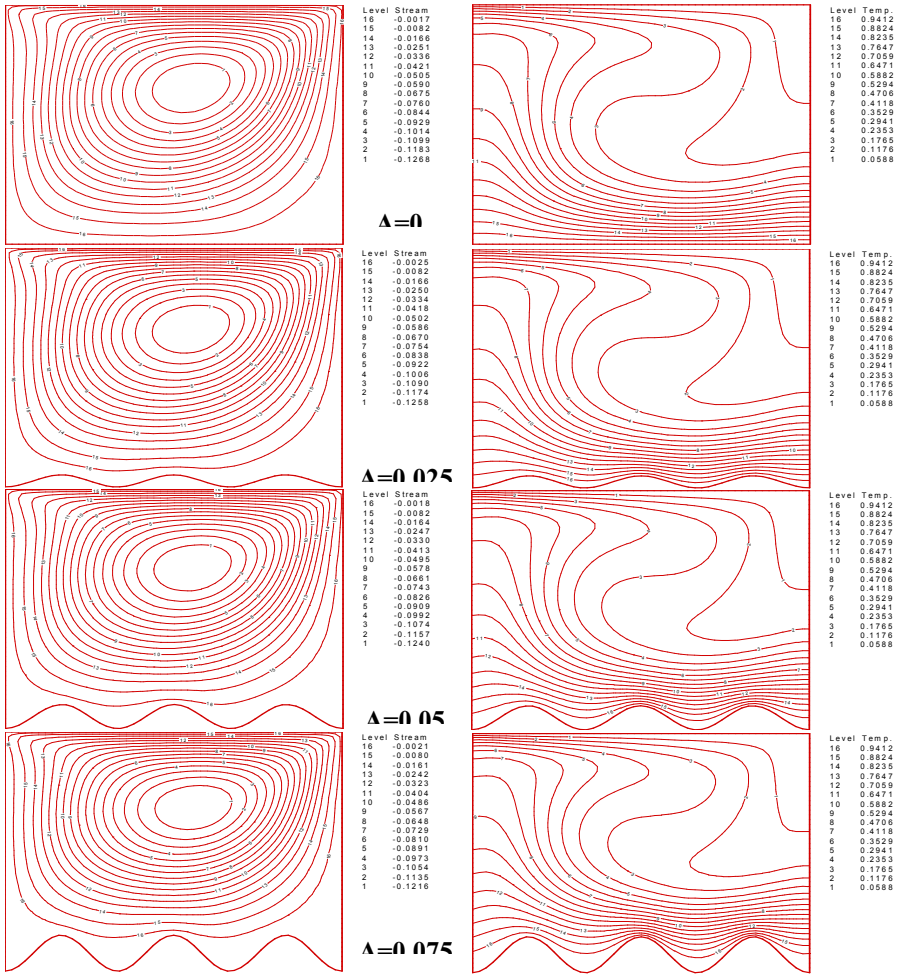


الشكل (٨) تأثير زيادة عدد موجات السطح الاسفل للفجوة على عدد نسلت الموضعي (Nu_x) عند ($Gr= 10^4$, A= 0.05, Ri= 10).

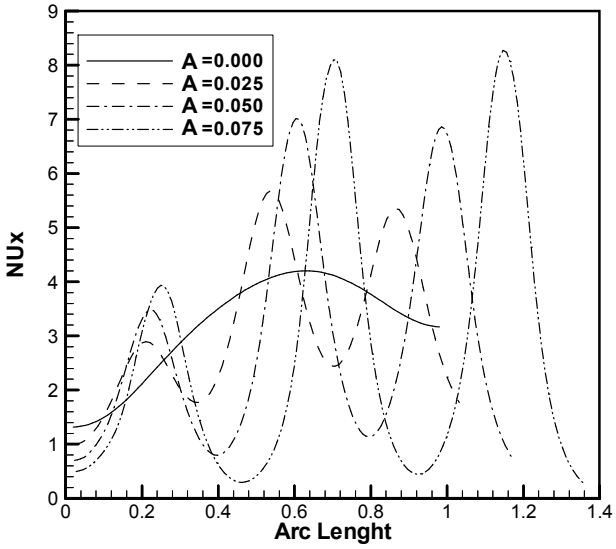


الشكل (٩) تأثير زيادة عدد موجات السطح الاسفل للفجوة على عدد نسلت الكلي ($\overline{Nu}$) عند ($Gr= 10^4$, A= 0.05).

تمت دراسة تأثير ارتفاع الموجة المعرّفة للسطح المتموّج السفلي (A) داخل الفجـــوة ذات الغطـــاء المتحرك من خلال دراسة تاثير (A) على عملية انتقال الزخم والطاقة، في البداية وتمت دراسة تأثير ارتفاع الموجة (A) على كل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة عند (Ri=1) و(λ = 3) كما هو واضح من الـــشكل (١٠) ان تأثير وارتفاع الموجة يظهر جلياً عند السطح السفلي من الفجوة، حيـــث نلاحـــظ تـــأثر الخطـــوط الكنتورية لكل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة بزيادة ارتفاع الموجة (A = 0-0.075)، إما المنطقة البعيدة عن السطح السفلي للفجوة فلا تظهر تأثيراً ناتجا زيادة قيمة (A) . الشكل (١١) يبين تأثير زيادة قيمـــة (A) على التدفق الحراري أو عدد نسلت الموضعي على طول السطح السفلي. حيث نلاحظ في الشكل زيادة فـــي قيمة عدد نسلت الموضعي بزيادة قيمة (A)، وهذا ناتج من انحدار السرعة العالي بالقرب من السطح العلوي للفجوة والذي يؤدي بدوره إلى زيادة نسبة انتقال الحرارة.



الشكل (١٠) تأثير زيادة ارتفاع موجات السطح الاسفل للفجوة (A) على كل من دالة الانسياب ودرجة الحرارة عند ($Gr= 10^4$, Ri= 1).



الشكل (١١) تأثير زيادة ارتفاع موجات السطح الاسفل للفجوة على عدد نسلت الموضعي (Nu_x) عند ($Gr= 10^4, \lambda= 3, Ri= 1$).

<u>الاستنتاجات</u>

١- زيادة عدد ريتشاردسون (Ri) يحد من انتقال الحرارة بسبب الزيادة في انحدار درجة الحرارة العمودي.

٢- عدد تموجات السطح الاسفل له تأثير مميز على خصائص انتقال الحرارة داخل الفجوة.

٣- اقصى قيمة لانتقال الحرارة او لعدد نسلت يمكن الحصول عليها عند سطح يملك تموجان فقط وعدد (Ri) قليل.

٤- عدد نسلت الموضعي والكلي يزدادان مع زيادة ارتفاع الموجات خاصة عندما يكون (Ri) قليل.

٥- يمكن اعتبار الفجوة كألية جيدة لأنتقال الحرارة عند زيادة ارتفاع تموجات سطحها الـــسفليب وعنـــد اعداد (Ri) القليلة.

المصادر

1. L.A.B. Pilkington, Review lectures "The Float Glass Process", third edition. In: Proc. R. Soc. Lond. A, vol. 314pp. 1-25. , 1969.
2. C.K. Cha, Y. Jaluria, "Recirculation mixed convection flow for energy extraction", Int. J. Heat Mass Transfer 27 1801-1810,1984.
3. F.J.K. Ideriah, "Prediction of turbulent cavity flows driven by buoyancy and shear", J. Mech. Eng. Sci. 22 287-295,1980.
4 J. Imberger, P.F. Hamblin, "Dynamics of lakes, reservoirs, and cooling ponds", Adv. Rev. Fluid Mech. 14 153-187,1982.
5. R.K. Agarwal, "A third-order-accurate upwind scheme for Navier Stokes solutions at high Reynolds numbers", AIAA-81-0112, in: Proc. 19th AIAA Aerospace Sciences Meeting, St. Louis,MO, 1981.
6. D.L. Young, J.A. Liggett, R.H. Gallagher, "Unsteady stratified circulation in a cavity", Eng. Mech. Div. 102 1009-1023. 1976.
7. M.C. Thompson, J.H. Ferziger, "An adaptive multigrid technique for the incompressible Navier-Stokes equations", Comput. Phys. 82 94-121. 1989.
8 U. Ghia, K.N. Ghia, C.T. Shin, "High-resolutions for incompressible flow using Navier-Stokes equations and a multigrid method", Comput. Phys. 48 387-411. 1982.
9 R. Schreiber, H.B. Keller, "Driven cavity flows by efficient numerical techniques", Comput. Phys. 49 310-333. 1983.
10. H.F. Oztop, L Dagtekin, "Mixed convection in two-sided lid-driven differentially heated square cavity", Int. J. Heat Mass Transfer 47 1761-11769. 2004
11. R. Iwatsu, J.M. Hyun, "Three-dimensional driven-cavity flows with a vertical temperature gradient", Int. J. Heat Mass Transfer 38 3319-3328. 1995
12. A.A. Mohamad, R. Viskanta, "Transient low Prandtl number fluid convection in a lid-driven cavity", Num. Heat Transfer: Part A 19 187-205. 1991.
13. A.K. Prasad, J.R. Keseff, "Combined forced and natural convection heat transfer in a deep lid-driven cavity flow", Int. J. Heat Fluid Flow 17 460-467. 1996.
14. C.F. Freitas, R.L. Street, "Non-linear transient phenomena in a complex recirculating flow: A numerical investigation", Int. J. Num. Methods Fluids 8 769-802. 1988.

15. A.A. Mohamad. R. Viskanta, "Flow and heat transfer in a lid-driven cavity with stably stratified fluid", Appl. Math. Model 19 465- 472.1945).

16. K.M. Khanafer, A.J. Chamkha, "Mixed convection flow in a lid driven enclosure with a fluid-saturated porous medium", Int. J. Heat Mass Transfer 42 2465-2481. 1999

17. C.-J. Chen, H. Nassari-Neshat, K.-S. Ho, "Finite-analytical numerical solution of heat transfer in two-dimensional cavity flow", Num. Heat Transfer 4 179-197. (1981)

18. R. Iwatsu, J.M. Hyun, K. Kuwahara, "Convection in a differentially heated square cavity with a torsionally-oscillating lid", Int. J. Heat Mass Transfer 35 1069-1076. 1992

19. R. Iwatsu, J.M. Hyun, K. Kuwahara, "Numerical simulation of flows driven by a torsionally oscillating lid in a square cavity", J. Fluids Eng. 114 143-149.1992

20. Abdalla Al-Amiri, K. Khanafer, L Pop, "Numerical simulation of unsteady mixed convection in a driven cavity using an externally excited sliding lid", Num. Heat Transfer 10 1179-1197. 2005

21. V.S. Arpaci, P.S. Larsen, Convection Heat Transfer, Prentice-Hall, p. 90. 1984,

22. O. Aydin, "Aiding and opposing mechanisms of mixed convection in a shear-and buoyancy-driven cavity", Int. Comm. Heat Mass Transfer 26 1019-1028. 1999

23. A.J. Chamkha, Hydromagnetic combined convection flow in a vertical lid-driven cavity with internal heat generation or absorption, Num. Heat Transfer: Part A 41 529-546. 2002

24. J.-H. Jang, W.-M. Yan, Mixed convection heat and mass transfer along a vertical wavy surface, Int. J. Heat Mass Transfer 47 419-428. 2004

25. P.K. Das, S. Mahmud, "Numerical investigation of natural convection inside a wavy enclosure", Int. J. Therm. Sci. 42 397-406,2003.

26. L. Adjlout, O. Imine, A. Azzi, M. Belkadi, "Laminar natural convection in an inclined cavity with a wavy-wall", Int. J. Heat Mass Transfer 45 2141-2152,2002.

27. B.V.R. Kumar, "A study of free convection induced by a vertical wavy surface with heat flux in a porous enclosure", Num. Heat Transfer: Part A 37 493-510,2000.

28. J.C. Bums, T. Parker. "Peristaltic motion". J. Fluid Mech. 29 731- 43. 1967

29. J.L. Goldstein. E.M. Sparrow. "Heat mass transfer characteristics for flow in a

corrugated wall channel", ASME J. Heat Transfer 99 187-195,1977

30. J.E. O'Brien, E.M. Sparrow, "Corrugated-duct heat transfer, pressure drop and flow visualization". J. Heat Transfer 104 410-416,1982

31. C.C. Wane. C.-K. Chen. "Forced convection in a wavy-wall channel", Int- J. Heat Mass Transfer 45 2587-2595. 2002

32. 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.

33. M.K. Moallemi, K.S. Jang, "Prandtl number effects on laminar mixed convection heat transfer in a lid-driven cavity", Int. J. Heat Mass Transfer 35 1992, 1881-1892.