تحليل عددي لجريان المائع وإنتقال الحرارة بالحمل القسري في مجرى ذي سطح يحتوي مقاطع نصف دائرية ومملوء بمادة مسامية

موفق علي حمادي
ماجستير هندسة ميكانيك / موائع وحراريات
كلية الهندسة / جامعة الموصل

د.أمير سلطان داؤد
أستاذ مساعد
كلية الهندسة / جامعة الموصل

الخلاصة

أجريت في هذا البحث دراسة عددية لمُحاكاة انتقال الحرارة بالحمل القسري الناتج عن جريان مائع داخل مجرى ذي سطح يحتوي مقاطع نُصف دائرية ومملوء بوسط مسامي. وقد أفتُرِضَ أن جريان المائع يكون طباقيا" ومستقراً و غير قابل للانضغاط ودرجة حرارته أقل من درجة حرارة أسطح المقاطع ، وقد استخدمت تقانات الفروق المحددة لتمثيل المعادلات الحاكمة (الكتلة و الزخم و الطاقة) ، وقد تم توليد الشبكة التفاضلية داخل الحيز باستخدام معادلات بويزن التفاضلية البيضوية ، أما المعادلات الحاكمة بصيغتها الجبرية فقد حُلَّت عددياً باستخدام طريقة الحل العددية خط بعد خط (LSOR) . وقد دُرِسَ في هذا البحث تأثير تغيير شكل القناة في جريان المائع وانتقال الحرارة لحالتين الاولى: عند أنصاف الأقطار (r = 0.25H, 0.5H,and 0.75H) ، وثانياً عند المسافة بين أنصاف اقطار المقاطع (P = 3r, 5r, 7r,and 9r). كما تم دراسة تأثير تغيير عدد رينولدز عند قيم (Re=50, 100, 150,and 200). النتائج بينت أن زيادة انصاف أقطار المقاطع والمسافة فيما بينها يؤدي إلى زيادة في كمية الحرارة المنتقلة ؛ كذلك فأن زيادة عدد رينولدز يقابلها زيادة في معدل انتقال الحرارة . وأن وجود المادة المسامية قد منع حدوث ظاهرتي الانفصال وتكون الدوامات في الجريان.

الكلمات الرئيسية : الوسط المسامي ، الحمل القسري ، الجريان اللادارسي .

Numerical Analysis of Fluid Flow and Heat Transfer by Forced Convection in Channel with one-sided Semicircular Sections and Filled with Porous Media

Mouwaffaq A. Hammadi
M.Sc. Mech. Eng./Thermal and Fluid
Collage of Engineering - Mosul University
E-mail : mahs_19862000@yahoo.com

Dr. Amir S. Dawood
Assistant professor
Collage of Engineering - Mosul University
E-mail : amirsd1954@yahoo.com

ABSTRACT

This research presents a numerical study to simulate the heat transfer by forced convection as a result of fluid flow inside channel's with one-sided semicircular sections and fully filled with porous media. The study assumes that the fluid were Laminar , Steady , Incompressible and inlet Temperature was less than Isotherm temperature of a Semicircular sections .Finite difference techniques were used to present the governing equations (Momentum, Energy and

Continuity). Elliptical Grid is Generated using Poisson’s equations . The Algebraic equations were solved numerically by using (LSOR) .This research studied the effect of changing the channel shapes on fluid flow and heat transfer in two cases ,the first: changing the radius (r = 0.25H , 0.5H ,and 0.75H) . and changing the distance between these radiuses (P = 3r, 5r, 7r,and 9r) . also the effect of changing the Reynolds number in (Re=50, 100, 150,and 200) is study .The results showing that the increase in the Radius , the distance between the sections and Reynolds number lead to increase the rate of heat transfer . and the presence of porous media prevents the phenomena of separation and vortex formation in flow.

Keywords : Porous Media, Forced Convection, Non Darcian Flow .

المقدمة

إن علوم انتقال الحرارة وميكانيكا الموائع تعد من العلوم المهمة لما لها من تطبيقات واسعة في كافة المجالات لاسيما الهندسية والصناعية منها ، ويعد انتقال الحرارة بالحمل الذي يلعب فيه جريان المائع دور بارزاً ومهماً من أهم أنوع انتقال الحرارة الجدير بالدراسة، ويكون انتقال الحرارة بالحمل القسري نتيجة التفاعل الحراري الناتج عن مرور المائع وجريانه على سطح معين إذ تنتقل الحرارة من السطح إلى المائع أو بالعكس اعتماداً على الفرق في درجات الحرارة بين السطح والمائع **Jiji,2006.**, إن انتقال الحرارة بالحمل القسري واحد من أهم المواضيع ذات التطبيقات الصناعية الواسعة كما في المراجل البخارية والمفاعلات الكيميائية المُحَفَزة بالعامل المساعد والخلايا الشمسية؛ وإن إدارة انتقال الحرارة لتحسينها أو تقليل حجم هذه المعدات يعد مهمة ضرورية جداً لحفظ وتوفير الطاقة في آن واحد، وبشكل عام فأن الخلايا الشمسية تُصمم عادةً كخلايا مستوية ذات تجاويف مفرغة لكن خلايا امتصاص الطاقة تكون مختلفة الأشكال مثل (المتعرجة)، وان القناة ذات السطح المتعرج واحدة من عدة أجزاء تُوظَف لتحسين كفاءة انتقال الحرارة في هذه **المعدات Heidary and,** **Kermani, 2012.**. وقد أشار **بيجان (Bejan)** إلى ظهور مجال منفصل في دراسة انتقال الحرارة وجريان المائع داخل القنوات وهو انتقال الحرارة وجريان المائع خلال الأوساط المسامية وذكر بأنه أَخَذَ حيز مِن فَصِل انتقال الحرارة بالحمل القسري **Bejan, and Kraus, 2003.**, ونتيجة لأهمية نَمطْ انتقال الحرارة بالحمل القَسري والجريان داخل القنوات الحاوية على مواد مسامية فضلاً عن كونه مجال بَحثي حديث ومُهم فقد سعى الكثير من الباحثين إلى دراسة هذا النمط سوآءً من اهتمَ بدراسة أنموذج الجريان الدارسي أو اللادارسي لوصفِ تحليل مُعادلة حفظ الزخم التي تحكم الحالة الفيزيائية لديناميكية جريان المائع داخل الوسط المسامي ومن هذه البحوث .

قام الباحث **Nakayama et al.,1988.**, بإجراء دِراسة باستخدام الحل المثالي والتقريبي لدراسة انتقال الحرارة بالحِمل القَسري في قناة مستوية ومملوءة بمادة مسامية لنموذج جريان لا دارسي؛ إذ تجهز الحرارة من سطحي القناة العلوي والسفلي بفيض حراري ثابت ، النتائج أعطت تقارب كبير بين الحل بالطريقتين حتى في أيجاد مخططات توزيع السرعة ودرجة الحرارة داخل القناة . كذلك تم اشتقاق صيغة مثالية (Exact Expression) لحساب عدد نسلت تحت شُروط الفيض الحراري الثابت على الجدار. أما الباحث **Kaviany, 1985.**, فقد قام بدراسة عددية لجريان المائع وانتقال الحرارة بالحمل القسري داخل قناة مستوية مملوءة بمادة مسامية و ذات جدارين بدرجة حرارة ثابتة ، وقد أستُخدم الأنموذج اللادارسي لتحليل معادلة حفظ الزخم ولكن بحذف حد مربع السرعة ، نتائج الدراسة أظهرت بأن عدد نسلت يزداد للجريان المكتمل النمو بزيادة معلمة الشكل للمادة المسامية $(H^2\emptyset/K)^{0.5}$ وعدد دراسي ، كما أظهرت الدراسة بأن الانخفاض بالضغط يقل بزيادة المعلمة المذكورة. وأجرى **Kim et al.,2001.**, دراسة عملية لمعرفة تأثير وجود هيكل أسفنجي من الألمنيوم على جريان المائع وانتقال الحرارة داخل قناة سطحها العلوي بدرجة حرارة ثابتة فيما سطحها السفلي معزول . وقد

تم دراسة تأثير كل من معامل الاحتكاك وعدد نسلت بوجود المادة المسامية داخل القناة ، وقد استنتج الباحثون بأن معامل الاحتكاك يكون ذا قيمة عالية جداً عندما تكون النفاذية قليلة وفي نفس الوقت تزداد قيم عدد نسلت الذي يعد مؤشر على تحسين انتقال الحرارة .

أما دراسة تأثيري التموج في سطح القناة و وجود المادة المسامية داخلها فيعد مجال بحثي حديث جداً لذا فان البحوث التي اختصت بدراسة هذا المجال قليلة جداً ومن جملتها الدراسة التي قام بها الباحثان **Mansoor, and Dawood 2013.** إذ قام الباحثان بإجراء تحليل عددي لجريان المائع وانتقال الحرارة بواسطة الحمل القسري داخل مجرى متموج مملوء بمادة مسامية ؛ وقد درس الباحثان تأثير التموج و وجود المادة المسامية على طبيعة الجريان وانتقال الحرارة ، وقد دُورِسَ تأثير التموج من خلال تغيير شكله لحالتين. النتائج أكدت أن تمويج سطح القناة بوجود المادة المسامية يعطي زيادة في معدل انتقال الحرارة بمقدار 18% تقريبا" مقارنة بالسطح المستوي . أما الباحثان **Heidary, and Kermani 2012.** فقد قاما بإجراء دراسة عددية لجريان المائع وانتقال الحرارة داخل قناة سطحها السفلي متموج فيما سطحها العلوي كان مستوياً ، والقناة محتوية على المادة المسامية ضمن الحيز من الأعلى إلى منتصف القناة ، وقد دُرس تأثير التموج في السطح لمدى من أعداد رينولدز تراوح بين (100-1000) من خلال عاملين هما عدد الموجات وسعة الموجة . النتائج بينت أنه من خلال التحكم في عدد الموجات من خلال الطول وسعة الموجة وكذلك عدد رينولدز يمكن زيادة معدل انتقال الحرارة بنسب عالية. وقد أجرى الباحث **Al-Sammarai,1999.** دراسة عملية لانتقال الحرارة بالحمل القسري من اسطوانة مسخنة في صف من الاسطوانات الأفقية خلال وسط مسامي لجريان متعامد تحت شرط ثبوت درجة حرارة سطح الاسطوانة المسخنة. شملت الدراسة بيان تأثير كل من سرعة الجريان وموقع الاسطوانة المسخنة والمسافة بين الاسطوانات على قابلية هذه الاسطوانة لتبديد الحرارة . النتائج بينت أن قابلية الاسطوانة المسخنة على تبديد الحرارة تعتمد على سرعة جريان المائع وموقع هذه الاسطوانة ضمن الصف والمسافات بين الاسطوانات. إذ تزداد هذه القابلية بزيادة سرعة الجريان ، وقد لوحظ أن هذه القابلية تصل أعلى قيمة لها عند نسبة مسافة فاصلة مقدارها ($S/D=1.6$) في كلتا حالتي الاسطوانات الطليقة والمغموسة في وسط مسامي ، كما أظهرت الاسطوانة المسخنة الموضوعة في أي موقع في الصف ولأغلب نسب المسافة الفاصلة ضمن حالتي الاسطوانات الطليقة والمغموسة زيادة في انتقال الحرارة مقدارها الأعظم (21%) مقارنة بأسطوانة مفردة طليقة أو مغموسة في وسط مسامي ، كذلك لوحظ أن أعلى قيمة تحسن في انتقال الحرارة من الاسطوانة المسخنة نتيجة استخدام الوسط المسامي كانت أكثر بخمس أضعاف انتقال الحرارة من نفس الصف ضمن حالة الاسطوانات الطليقة عند سرعة الجريان نفسها.

تمثيل الشكل الهندسي للمسألة

الانموذج المقترح في هذه الدراسة هو مقطع من قناة تحتوي مقاطع نصف دائرية على سطحها العلوي يتم فيها انتقال الحرارة من هذه المقاطع الى المائع المار عبر القناة . كما يمكن أن يكون شكل المسألة مقطعاً لمجمع جريان لمنظومة شمسية تمثل المقاطع النصف دائرية فيها الخلايا الشمسية (ينظر الشكل (1)) . أمّا رياضيا" فيمكن تمثيل الشكل على وفق المعادلات التالية :

فيما يخص السطح السفلي فان معادلته تكون بالصيغة التالية :

$$y_b = 0 \qquad 0 \le x \le L \tag{1}$$

أما فيما يخص السطح العلوي المستوي فأن معادلته تكون كما يأتي :

$$0 \le x \le L_i$$

$$y_t = H \begin{cases} (L_i + 2r) \leq x \leq (L_i + p) \\ (L - L_e) \leq x \leq L \end{cases} \quad (2)$$

وفيما يخص السطح العلوي الحاوي على مقاطع نصف دائرية فأن معادلته تكون كما يأتي:

$$\left.\begin{array}{ll} y_t = H - \sqrt{r^2 - [(x - L_i) - r]^2} & \text{المقطع الأول} \\ y_t = H - \sqrt{r^2 - [(x - (L_i + p)) - r]^2} & \text{المقطع الثاني} \end{array}\right\} \quad (3)$$

الفرضيات

1− المادة المسامية تَملئ القناة بالكامل؛ وتكون متجانسة الخواص من نفاذية ومسامية وغيرها.
2− المائع المفترض نيوتني (Newtonian Fluid) وغير قابل للانضغاط وجريانه يكون مستقراً وطباقياً.
3− جداري القناة العلوي والسفلي معزولين حرارياً وغير نفاذين.
4− اعتبار الحالة المدروسة حالة استقرار حراري ؛ وجميع الكميات تؤخذ في أتجاهي (x,y) فقط 2-Dimentions
5−درجة حرارة المقاطع النصف دائرية ثابتة وبنفس الوقت أعلى من درجة حرارة المائع الداخل إلى القناة .
6− عدم تغير كل من الحرارة النوعية والموصلية الحرارية واللزوجة والكثافة وغيرها من الخواص.
7− يَخضع انسياب المائع داخل المجرى إلى قانون دارسي المطور .

المعادلات الحاكمة

إن مُعادلات حفظ الكتلة وحفظ الزخم وحفظ الطاقة هي المعادلات المتحكمة بالمسألة ، وباعتماد الفرضيات الواردة أعلاه فأن المعادلات تمثل بالصيغ الآتية **,Mansoor, and Dawood, 2013.** and **,Hadim, and North, 2005.**

معادلة حفظ الكتلة (الاستمرارية)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

معادلة حفظ الزخم

$$\frac{\rho_f}{\phi^2}\left(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y}\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\mu_f}{K}u - \frac{\rho_f.F}{\sqrt{K}}\sqrt{u^2+v^2}.u + \frac{\mu_f}{\phi}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \quad \textit{in x-direction} \quad (5)$$

$$\frac{\rho_f}{\phi^2}\left(u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y}\right) = -\frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\mu_f}{K}v - \frac{\rho_f.F}{\sqrt{K}}\sqrt{u^2+v^2}.v + \frac{\mu_f}{\phi}\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) \quad \textit{in y-direction} \quad (6)$$

معادلة حفظ الطاقة

$$u.\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_f\left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right] \quad (7)$$

المعادلات الحاكمة بصيغتها اللابعدية

باعتماد المقاييس المميزة للمسألة (Characteristic Scales) وهي $(T_h, u_\circ, \rho u_\circ^2, H)$ تم كتابة جميع المتغيرات بصيغتها اللابعدية وفق الصيغ الآتية ومن هذه المتغيرات تم كتابة المعادلات الحاكمة بصيغتها اللابعدية :

$$\left[x^* = \frac{x}{H}, y^* = \frac{y}{H}, T^* = \frac{T-T_i}{T_h-T_i}, u^* = \frac{u}{u_\circ}, v^* = \frac{v}{u_\circ}, \omega^* = \frac{\omega H}{u_\circ}, r^* = \frac{r}{H}, \psi^* = \frac{\psi}{u_\circ H}\right]$$

معادلة حفظ الكتلة (الاستمرارية) بصيغتها اللابعدية

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0 \qquad (8)$$

معادلات حفظ الزخم بصيغتها اللابعدية

إن معادلات حفظ الزخم في اتجاهي (x,y) بعد تحويلها الى الصيغة اللابعدية ستكون :

$$\frac{1}{\emptyset^2}\left(u^*\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^*\frac{\partial u^*}{\partial y^*}\right) = -\frac{\partial p^*}{\partial x^*} - \frac{1}{ReDa}u^* - \frac{F}{\sqrt{Da}}\sqrt{u^{*2}+v^{*2}}.u^* + \frac{1}{Re\emptyset}\left(\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}}\right) \qquad (9)$$

$$\frac{1}{\emptyset^2}\left(u^*\frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^*\frac{\partial v^*}{\partial y^*}\right) = -\frac{\partial p^*}{\partial y^*} - \frac{1}{ReDa}v^* - \frac{F}{\sqrt{Da}}\sqrt{u^{*2}+v^{*2}}.v^* + \frac{1}{Re\emptyset}\left(\frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}}\right) \qquad (10)$$

ومن المعادلتين أعلاه نشتق معادلة النقل الدوامية (Vorticity Transport Equation) وصيغتها اللابعدية هـــــــي **,Mansoor, and Dawood, 2013.**

$$\frac{1}{\emptyset}\left[\frac{\partial\psi^*}{\partial y^*}\frac{\partial\omega^*}{\partial x^*} - \frac{\partial\psi^*}{\partial x^*}\frac{\partial\omega^*}{\partial y^*}\right] = \frac{1}{Re}\left[\frac{\partial^2\omega^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2\omega^*}{\partial y^{*2}}\right] - \frac{\emptyset}{ReDa}\omega^* - \frac{\emptyset F}{\sqrt{Da}}|V^*|\omega^* + \frac{\emptyset F}{\sqrt{Da}}\left[\frac{\partial\psi^*}{\partial x^*}\frac{\partial|V^*|}{\partial y^*} + \frac{\partial\psi^*}{\partial x^*}\frac{\partial|V^*|}{\partial x^*}\right] \qquad (11)$$

$$|V^*| = \sqrt{u^{*2}+v^{*2}} \qquad (12)$$

معادلة حفظ الطاقة بصيغتها اللابعدية

$$\frac{\partial\psi^*}{\partial x^*}\frac{\partial T^*}{\partial x^*} + \frac{\partial\psi^*}{\partial x^*}\frac{\partial T^*}{\partial y^*} = \frac{1}{Pe}\left[\frac{\partial^2 T^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}}\right] \qquad (13)$$

الشروط الحدية للمسألة

لكي يتم حل اي معادلة تفاضلية لابد من توفر هذه الشروط ، إذ وزعت كما موضح في الشكل (3) وقد تم كتابتها بالصيغة اللابعدية وكما يأتي :

منطقة دخول المائع إلى القناة (A): $u^* = u^*_\circ = 1\ , v^* = 0\ , \psi^* = u^*_\circ . y^* = y^*\ , \omega^* = 0, \quad T^* = 0$

منطقة خروج المائع من القناة (B): $\frac{\partial u^*}{\partial x^*} = 0\ ,\ \ \frac{\partial \psi^*}{\partial x^*} = 0\ ,\ \frac{\partial \omega^*}{\partial x^*} = 0\ ,\ \frac{\partial T^*}{\partial x^*} = 0$

عند السطح العلـوي المعـزول (C): $u^* = 0\ ,\ v^* = 0\ ,\ \frac{\partial T^*}{\partial y^*} = 0\ ,\ \psi^* = u^*.y^*\ ,\ \omega^* = -\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial n^{*2}}$

عند السطح العلوي المتمــوج (D): $\psi^* = /V^*/.y^*\ ,\ \omega^* = -\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial n^{*2}}\ ,\ T^* = 1$

عند السطح السفلـــي للقناة (E): $u^* = 0\ ,\ v^* = 0\ ,\ \frac{\partial T^*}{\partial y^*} = 0\ ,\ \psi^* = 0$

حساب أعداد نسلت الموضعي والمعدل

يعد عدد نسلت أهم معلمة في البحوث التي تهتم بدراسة عملية انتقال الحرارة بالحمل ، وقد تم حساب قيمته الموضعية من خلال بالصيغة الآتية **Mansoor, and Dawood, 2013.**,

$$Nu_x = \frac{h_{c_{x^*}} H}{k_f} = -\frac{\partial T^*}{\partial n^*}\frac{1}{(1-T^*_b)} \tag{14}$$

إذ إن (T^*_b) تمثل معدل لدرجات الحرارة للمائع (bulk temperature) ويمكن حسابها من المعادلة الآتية:

$$T^*_b = \frac{\int_{y_b}^{y_t} u^*.T^*.dy}{\int_{y_b}^{y_t} u^*.dy} \tag{15}$$

أما معدل عدد نسلت فقد تم حسابه من خلال العلاقة الاتية :

$$\overline{Nu} = \frac{1}{s}\int_0^s Nu_x.ds \tag{16}$$

تقانات الفروق المحددة

بعد أن تم أيجاد المعادلات التفاضلية المتحكمة بالشكل الفيزيائي للمسالة قيد الدراسة لابد من تقطيع هذه المعادلات عددياً ، وهذا يعني أن يتم تحويل كل جزء من المعادلات التفاضلية إلى ما يقابله في الحل العددي ليتم إدخاله إلى الحاسبة الالكترونية ، ومن ثم التعامل معه عن طريق كتابة برنامج حاسوبي وفق خوارزمية حل تُنشأ لهذا الغرض.

وتعتمد تقانات الفروق المحددة بالإساس على متوالية تايلور التي يتم تقطيعا عند الحد المطلوب للمشتقة سواء كانت الأولى أو الثانية أو أية قيمة أخرى. ولكي تطبق هذه الطرائق لابد من تحديد نقاط معينة داخل الحيز يتم عندها حل المعادلات بالأسلوب الامثل واختيار صيغة الفتح المناسبة لمواقع تلك النقاط، وهذه النقاط تنتج عن تقاطع الاحداثيين الافقي والعمودي في حالة كون الشكل منتظماً، أما في حالة كون الشكل غير منتظم كما في دراستنا الحالية فسيتم اللجوء إلى ما يعرف بـ " توليد الشبكة " إذ يتم تكوين شبكة جديدة من المحاور الافتراضية التي تكون فيها المسافات متساوية ، وهو الشرط اللازم لتطبيق تقانات الفروق المحددة **Chapra, and Canale, 2002.**,

التوليد الشبكي

لكي يتم حل المعادلات التفاضلية التي تصف جريان المائع وانتقال الحرارة داخل حيز الدراسة لابد من توفير فضاء من النقاط الناتجة عن تقاطع المحاور ، وهذه النقاط تسمى بـ" الشبكة " وتسمى سلسلة الاجراءات والعمليات التي ينتج عنها تكوين هذه النقـــــاط بـــ " التوليد الشبكي " وهذا الاجراء يسبق عملية حل المعادلات التفاضلية بعد تمثيلها عددياً ويكون

هذا الاجراء ضرورياً جداً ومهماً في نفس الوقت ، كما أن اختيار نوع التوليد وشكلة أيضاً يلعب دوراً مهماً في الحل العددي إذ يؤدي عدم التوليد الجيد للشبكة إلى نتائج غير صحيحة، وربما يؤدي إلى عدم حصول تقارب عند الحل . في الشكل (2) يلاحظ شبكة النقاط التي تم توليدها داخل الحيز وفق اسلوب التوليد الشبكي التفاضلي باستخدام معادلات بويزن التفاضلية البيضوية . وقد استخدمت دالة التجميع المتناظر لتركيز النقاط عند مناطق العمليات على السطح العلوي والسفلي لغرض زيادة دقة الحل من خلال الاعتماد على عدد كبير من النقاط الامامية او الخلفية عند ايجاد قيمة متغير معين بالاعتماد على قيم سابقة او لاحقة **.Fletcher,1988**,

تحقيق صحة البرنامج

لكي يتم اختبار دقة وصحة البرنامج الحاسوبي الذي تم أنشاءه باستخدام برنامج ماتلاب Matlab، فقد تم اختباره من خلال مقارنة النتائج التي تم التوصل إليها لحالة معينة مع قيم بحوث سابقة ، إذ تم مقارنة مخطط توزيع السرعة الذي تم الحصول عليه من الدراسة الحالية الشكل ((5(a) مع ما توصل إليه الباحثان **.Mansoor, and Dawood, 2013**, والباحث **.Kaviany, 1985**, كما في الشكل ((5(b) . كذلك فأن الحصول على مخطط توزيع قيم عدد نسلت الموضعي (الشكل (6)) خلال قناة مستوية وعلى السطحين العلوي والسفلي وفيه استقرت قيمة عدد نسلت عند 4.93 تقريباً وهي القيمة التي ذكرها **بيجان .Bejan,1983**, وهذا التحقيق لحساب قيم عدد نسلت يعطي البرنامج الموثوقية اللازمة للحصول على نتائج الدراسة الحالية ، إذ إن صحة نتائج عدد نسلت الموضعي تؤكد صحة تمثيل معادلات الزخم والطاقة مجتمعة .

النتائج و المناقشة

تأثير عدد دارسي في جريان المائع وانتقال الحرارة

يمثل عدد دارسي النسبة بين نفاذية المادة المسامية (K) إلى مربع ارتفاع القناة (H) أو ما يعرف بــ (Characteristic length scale) ويَعطي مؤشر لوجود أو عدم وجود المادة المسامية و كذلك يُعطي مؤشراً أيضاً لكثافة المادة المسامية داخل الحيز ؛ فأن كان مقداره كبيراً دَلَ على قلة المادة المسامية وبالعكس ، أما تأثيره على شكل مركبة السرعة داخل القناة فيكون واضح جداً كما في الشكل (7) إذ إنه لقيم عدد دارسي العالية تكون مركبة السرعة الافقية ذات سرعة عالية في منتصف القناة ثم بنقصان قيمة عدد دارسي تقل مركبة السرعة في منتصف القناة مع زيادة ملحوظة لقيمة السرعة قرب الجدار ، والسبب هو ان عدد دارسي العالي دليل على قلة المادة المسامية وبالتالي فأن نمو الطبقة المتاخمة يأخذ مسافة معينة حتى يكتمل، مع تلاشي إجهاد القص في منتصف القناة فتأخذ السرعة شكلها المغزلي، أما في حالة عدد دارسي القليل والقليل جداً فأن الوجود الكثيف للمادة المسامية يعيق حركة المائع ويجعله يأخذ شكل منتظم مع تلاشي تكون الطبقة المتاخمة وهذا الامر ضروري جداً إذ إن زيادة مركبة السرعة قرب الجدار يعني زيادة انتقال الحرارة بالحمل وهو الغرض المنشود من الدراسة الحالية . أما في الشكل (8) فيلاحظ ان نقصان عدد دارسي (زيادة كثافة المادة المسامية) يؤدي إلى كبح خطوط ثبوت درجة الحرارة ودفعها جانباً وهذا الامر ضروري جداً إذ أنه كلما قل ميل خطوط ثبوت درجة زاد معامل انتقال الحرارة وبالتالي زاد عدد نسلت وكمية الحرارة المنتقلة .

تأثير تغيير أنصاف اقطار المقاطع النصف دائرية في جريان المائع وانتقال الحرارة

من الشكل (9) يلاحظ ان زيادة نصف قطر المقطع أدى إلى زيادة مركبة السرعة عند مناطق التخصر وذلك بسبب نقصان مقطع مساحة التدفق وطبقاً لمعادلة حفظ الكتلة فأن أي نقصان في مساحة المقطع تقابلها زيادة في سرعة جريان المائع للحصول على قيمة تدفق ثابتة . أما فيما يخص اشكال خطوط دالة الانسياب (11)(12)(13) فيلاحظ ان كثافة تلك الخطوط تتبع تغيير نصف قطر المقطع نصف الدائري وتأخذ تعليل أنه مع نقصان المقطع تزداد السرعة وزيادة السرعة يعني دمج وتكاثف خطوط الانسياب في تلك المنطقة. أما تأثير نصف القطر في انتقال الحرارة فيلاحظ أن زيادة نصف القطر (زيادة مساحة المصدر الحراري) تؤدي إلى زيادة في كمية الحرارة المنتقلة ويلاحظ ذلك من خلال الوان الطيف المائل إلى الاحمرار وهذا يعني إن المائع في حالة زيادة نصف القطر يمتص كمية حرارة أكبر وكما يلاحظ في الشكل (10) والسبب هو زيادة نشاط تيارات الحمل في هذه الحالة وهذه الزيادة في نشاط تيارات الحمل يعبر عنها فيزيائياً بزيادة عدد نسلت أي بمعنى زيادة معدل انتقال الحرارة .

تأثير تغيير المسافة بين أنصاف اقطار المقاطع في جريان المائع وانتقال الحرارة

تؤثر المسافة بين مركزي انصاف اقطار المقاطع النصف دائرية في جريان المائع وانتقال الحرارة ويلاحظ ذلك أولاً من خلال خطوط دالة الانسياب إذ يلاحظ أنه عندما تكون المسافة بين المراكز (P=3r) فأن خطوط دالة الانسياب تكون بعيدة عن الجدار (بين المقطعين) وهذا مؤشر واضح على نقصان السرعة في تلك المنطقة والسبب يعود إلى حالة الركود التي يعاني منها المائع في تلك المنطقة ، أما مع زيادة المسافة فأن المائع يبدأ بالحركة ويبدو ذلك جلياً من خلال أشكال خطوط دالة الانسياب كما في الأشكال (11)(12)(13) وهذا الحالة مهمة جداً في عملية انتقال الحرارة . كما يلاحظ من خلال الشكل (14) أن توزيع أعداد نسلت على المقطع الأول أكثر منه على المقطع الثاني وذلك بسبب الفرق الكبير في درجات الحرارة بين السطح الساخن والمائع فضلاً عن نشاط تيارات الحمل بشكل كبير على المقطع الأول وأقل منه على المقطع الثاني خاصة عندما تكون المسافة (P=3r) لان هذه المسافة تجعل المقطع الثاني يقع في منطقة انفصال خطوط الانسياب خلف المقطع الأول فيكون نشاط تيارات الحمل أقل على المقطع الثاني ، لكن هذا النشاط لتيارات الحمل على المقطع الثاني يزداد مع زيادة المسافة بين المقطعين .أما تأثير المسافة في انتقال الحرارة فيلاحظ من خلال الاشكال (15) انه بثبوت نصف القطر وعدد رينولدز فأن زيادة المسافة تؤدي إلى دفع خطوط ثبوت درجة الحرارة والسبب يعود إلى أنه مع زيادة المسافة فأن المائع المار على المقطع الأول يمتص كمية من الحرارة ثم يمتزج مع المائع الذي مر دون المقطع ولم يكتسب حرارة فيفقد المائع الساخن كمية من حرارته ثم بمروره مرة اخرى على المقطع الثاني يكتسب كمية إضافية من الحرارة ، أما في حالة المسافة القلية (P=3r) فأن المائع بعد أن أكتسب كمية من الحرارة من المقطع الأول لا تكون له فرصة الامتزاج بمائع غير ساخن نتيجة قصر المسافة بين المصدرين الحراريين فيمر مباشرة بالمقطع الثاني لكنه لا يكتسب كمية حرارة اضافية كبيرة لان درجة حرارة عالية نسبياً ومن المعلوم أن المائع الساخن يكتسب حرارة إضافية قليلة . كما يلاحظ من خلال الاشكال (16)(17)(18) فأن زيادة عدد رينولدز بثبوت انصاف اقطار المقاطع والمسافة فيما بينها يؤدي الى زيادة عدد نسلت وبالتالي زيادة في انتقال الحرارة .

الاستنتاجات

1 – تؤدي زيادة عدد رينولدز إلى زيادة في انتقال الحرارة من خلال زيادة معدل أعداد نسلت على المقاطع نصف الدائرية

2 – يؤدي تقليل عدد دارسي بشكل كبير إلى انتظام مركبة سرعة جريان المائع داخل القناة مع تلاشي تكون الطبقة المتاخمة الهيدروليكية ، فضلاً عن كبح خطوط ثبوت درجة الحرارة ودفعها باتجاه السطح.

3 – إن قيم كل من نصف قطر المقطع (r = 0.75H) والمسافة بين مركزي المقاطع (P=9r) تمثل القيم المثلى من بين القيم التي دُرست وعند جميع قيم أعداد رينولدز.

4 – يلعب تغيير نصف قطر المقطع الدور البارز في جريان المائع وانتقال الحرارة أكثر من تغيير عاملي المسافة بين المقاطع أو تغيير عدد رينولدز .

5 – إن وجود المادة المسامية بشكل كثيف داخل القناة قد منع حدوث ظاهرتي الانفصال وتكون الدوامات .

References المصادر

- Jiji L. M., 2006, *Heat Convection*, Third Edition, Springer-Verlag, Inc., Berlin Heidelberg, Netherland.

- Heidary H.,and Kermani M. J.,2012, *Enhancement of Heat Exchanger in a Wavy Channel Liked to a Porous Domain ; a Possible Duct Geometry for Fuel Cells*, Int. Communications in Heat and Mass Transfer, Vol,39, PP. 112-120.

- Bejan A.,and Kraus A. D., 2003, *Heat Transfer Handbook*, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

- Nakayama A., Koyama H.,and Hamamats J.L.,1988, *An Analysis on Forced Convection in a Channel Filled with a Brinkman-Darcy Porous-Medium: Exact and Approximate Solutions*, Warme-und Stoffubertragung, Vol.23, 291-295.

- Kaviany M.,1985, *Laminar Flow through a Porous Channel Bounded by Isothermal Parallel Plates*, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 28, No. 4, PP.851-858.

- Kim S. Y., Kang B. H,and Kim J.-H.,2001, *Forced Convection from Aluminum Foam Materials in an Asymmetrically Heated Channel*, Int. J. Heat Mass Transfer,Vol.44, PP. 1451-1454.

- Mansoor F.S., Dawood A. S.,2013, *Numerical Investigation of Heat Transfer and Fluid Flow Characteristics inside Wavy Channels Fully Filled with Porous Medium*, Canadian Center of Science and Education, Vol.3, No.2.13-27.

- Al-Sammarai A.T.,1999, *An Experimental Study on Forced Convection Heat Transfer From a Heated Cylinder in Free And Embedded Horizontal Cylinders Array in a Porous Medium in Cross Flow*, M.sc Thesis , Tikrit University.

- Hadim H., North M.,2005, *Forced Convection in a Sintered Porous Channel with Inlet and Outlet Slots*, Int. J. Thermal Sciences, Vol.44, PP.33-42.

- Bejan A.,1983, *Natural Convection Heat Transfer in a Porous Layer with Internal Flow Obstructions* ,Int.J. Heat Mass Transfer Vol.26, No.6, PP.815-822.

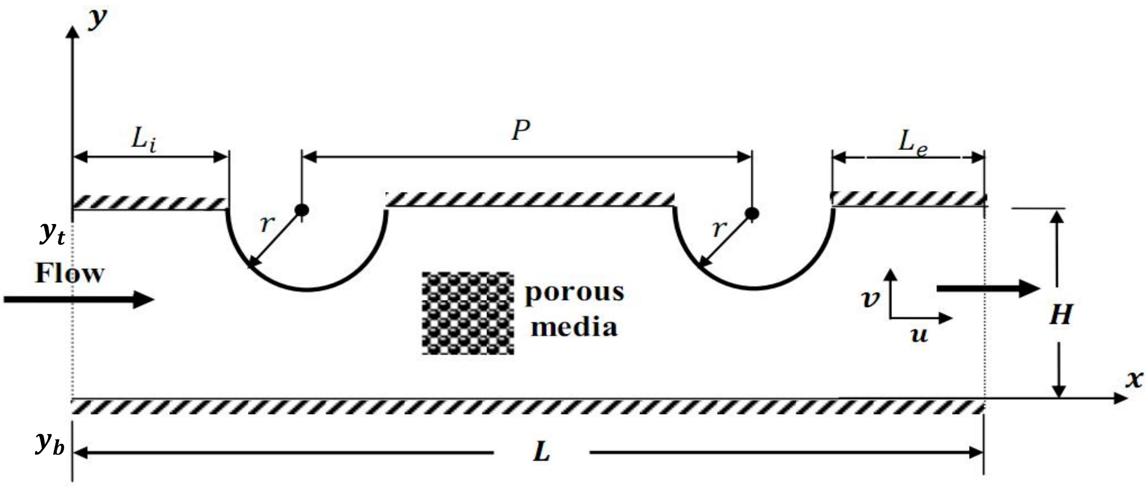
- Chapra,S.C.,Canale,R.P.2002,*Numerical Methods for Engineers*, McGraw-Hill, USA.

- Fletcher C. A. J., 1988, *Computational Techniques for Fluid Dynamics 2*, Sprinker-Verlag Berlin Heidelberg, USA.

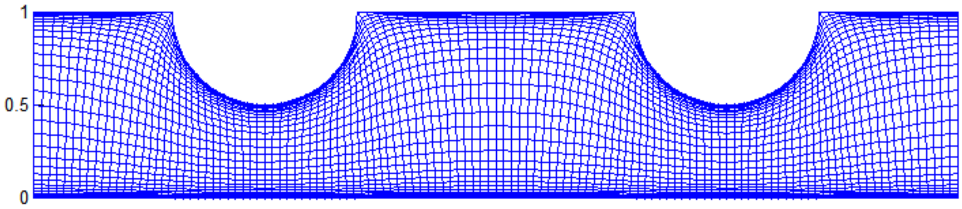
الـــرمـــــوز

الوحدة	تعريفــــــــــــــــــــــــه	الرمز
$J/\mathrm{kg.K}$	الحرارة النوعية بثبوت الضغط	C_p
——	عدد دارسي $= K/H^2$	Da
——	معامل فروكهايمر $= 1.75/\sqrt{150\emptyset^3}$	F
m	ارتفاع المجرى (القناة)	H
$\mathrm{W}/m^2.\mathrm{K}$	معامل انتقال الحرارة بالحمل	h_c
$\mathrm{W}/m.\mathrm{K}$	الموصلية الحرارية	k
m^2	نفاذية المادة المسامية	K
——	عدد نسلت الموضعي	Nu_x
——	معدل عدد نسلت $= h_cH/k_f$	$\overline{Nu}$
$\mathrm{Pa}(\mathrm{N}/m^2)$	الضغط	p
m	البعد بين مركزي المقاطع نصف الدائرية	P
——	عدد برانتل $= \mu_f.C_{p_f}/k_f$	Pr
——	عدد رينولدز $= u.H/\nu$	Re
K	درجة الحرارة	T
——	درجة الحرارة اللابعدية	T^*
m/s	مركبة السرعة في الاتجاه الأفقي	u
m/s	سرعة المائع الداخل إلى القناة	$u_\circ$
m/s	مركبة السرعة في الاتجاه العمودي	v
——	مركبة السرعة اللابعدية في الاتجاه الأفقي	u^*
——	مركبة السرعة اللابعدية في الاتجاه العمودي	v^*

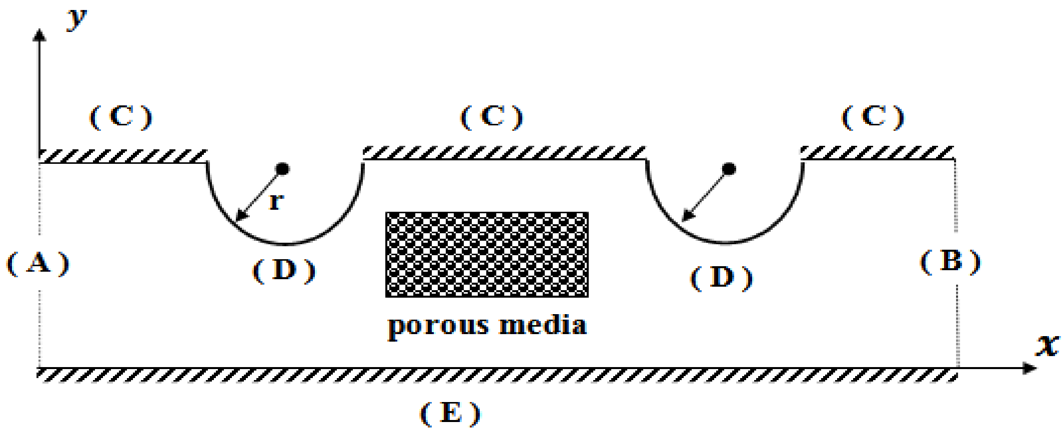
$/V/$	محصلة السرعة في الاتجاهين الافقي والعمودي	m/s
الرموز الاغريقية		
α	الانتشارية الحرارية	m^2/s
μ	اللزوجة الديناميكية	$\text{kg}/m.\text{s}$
ν	اللزوجة الكينيماتية	m^2/s
ξ,η	المحوران الأفقي والعمودي في المستوي الحسابي	——
ρ	الكثافة	kg/m^3
ϕ	المسامية	——
ψ	دالة الانسياب	m^2/s
ω	دالة الدوامة $= -\nabla^2\psi$	$1/s$
الرموز العلوية والسفلية		
b	معظم (bulk)	——
f	مائع	——
*	لابُعدي	——
t	عِلوي	——
b	سُفلي	——



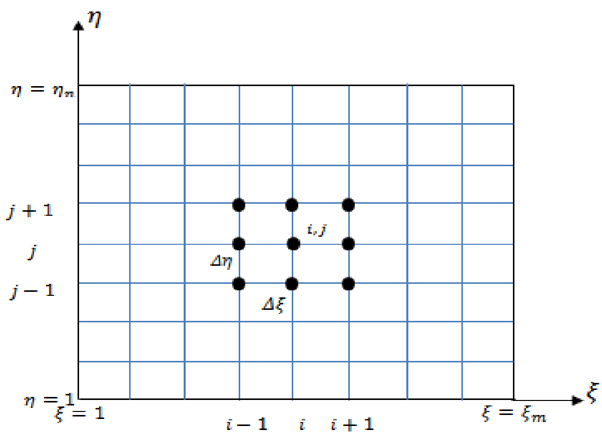
الشكل (1) : يوضح الانموذج الفيزيائي للمسألة.



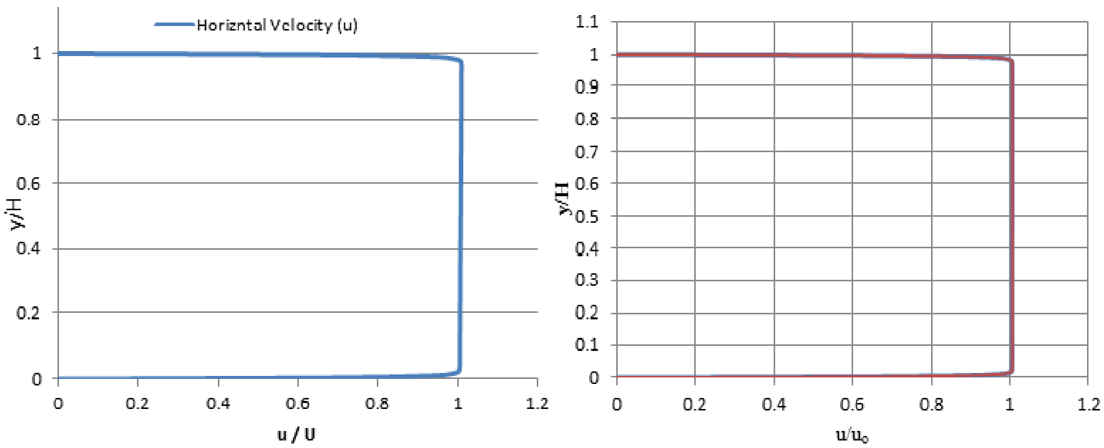
الشكل (2) : يوضح الشبكة المولدة داخل الحيز باستخدام معادلات بويزن التفاضلية.



الشكل (3) : يمثل مناطق توزيع الشروط الحدية للمسألة.

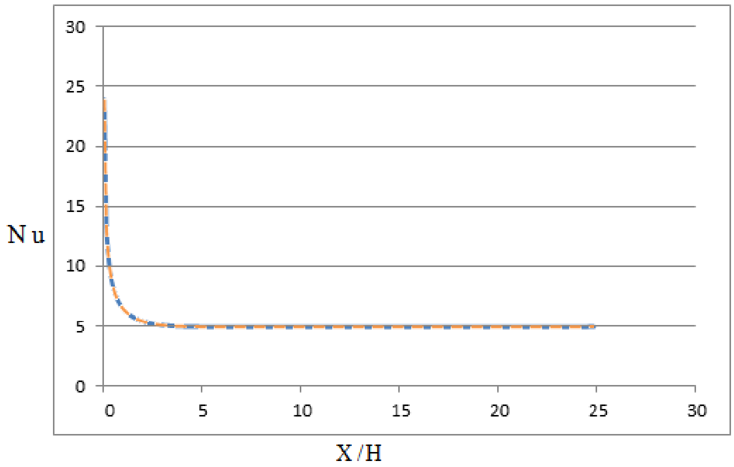


الشكل (4) : يوضح النقاط العقدية المستخدمة في التحليل العددي.

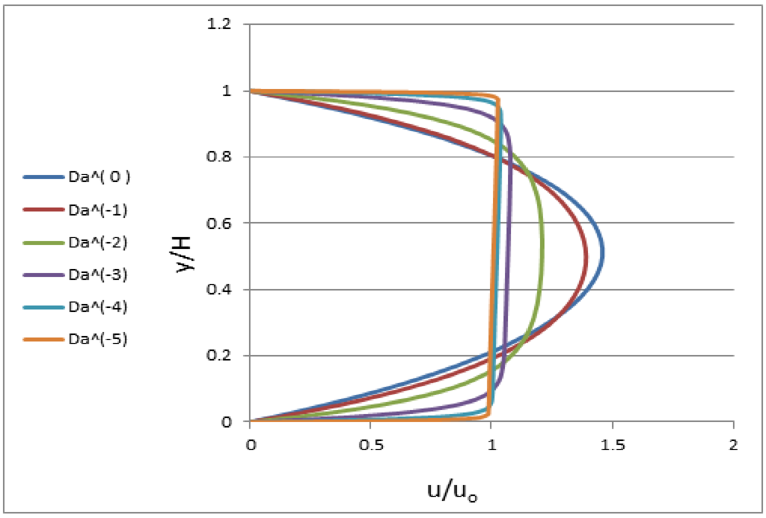


(a) (a) (b) (b)

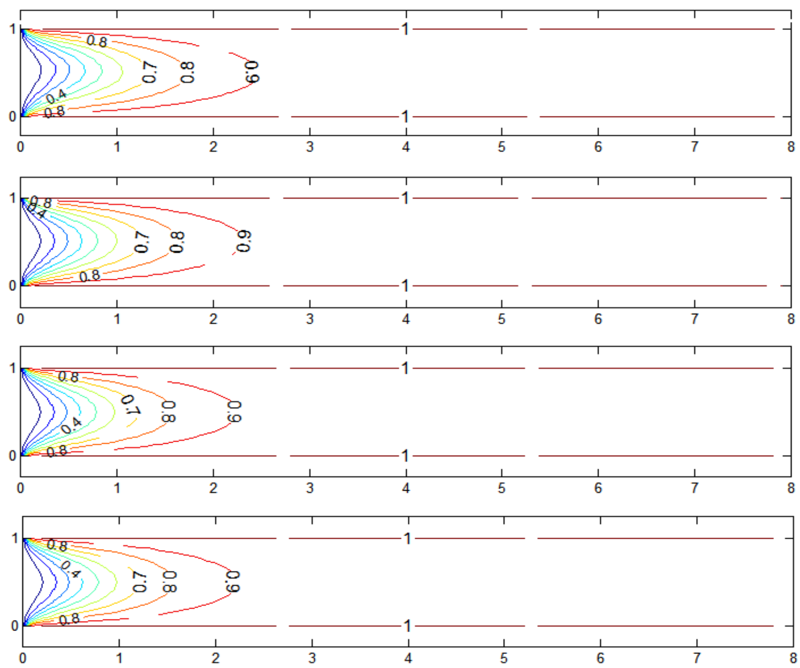
الشكل (5) : مقارنة مخطط توزيع السرعة داخل قناة مستوية الذي تم الحصول عليه من الدراسة الحالية (a) مع ما توصل إليه الباحثان **Mansoor and Dawood, 2013** والباحث **Kaviany,1985** كما في الشكل (b).



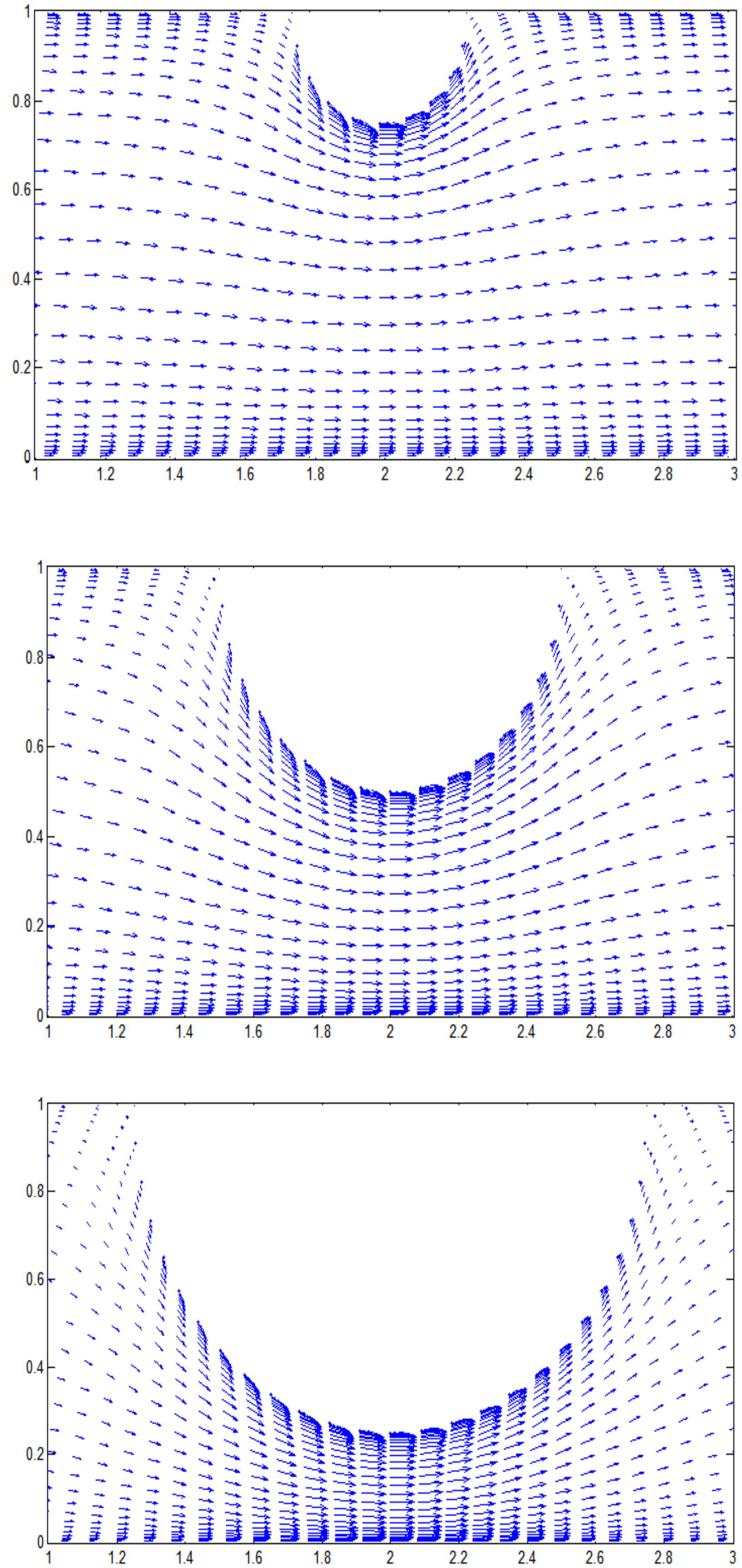
الشكل(6): قيم عدد نسلت الموضعي على السطحين العلوي والسفلي على طول قناة مستوية عندماعدد رينولدز Re=100.



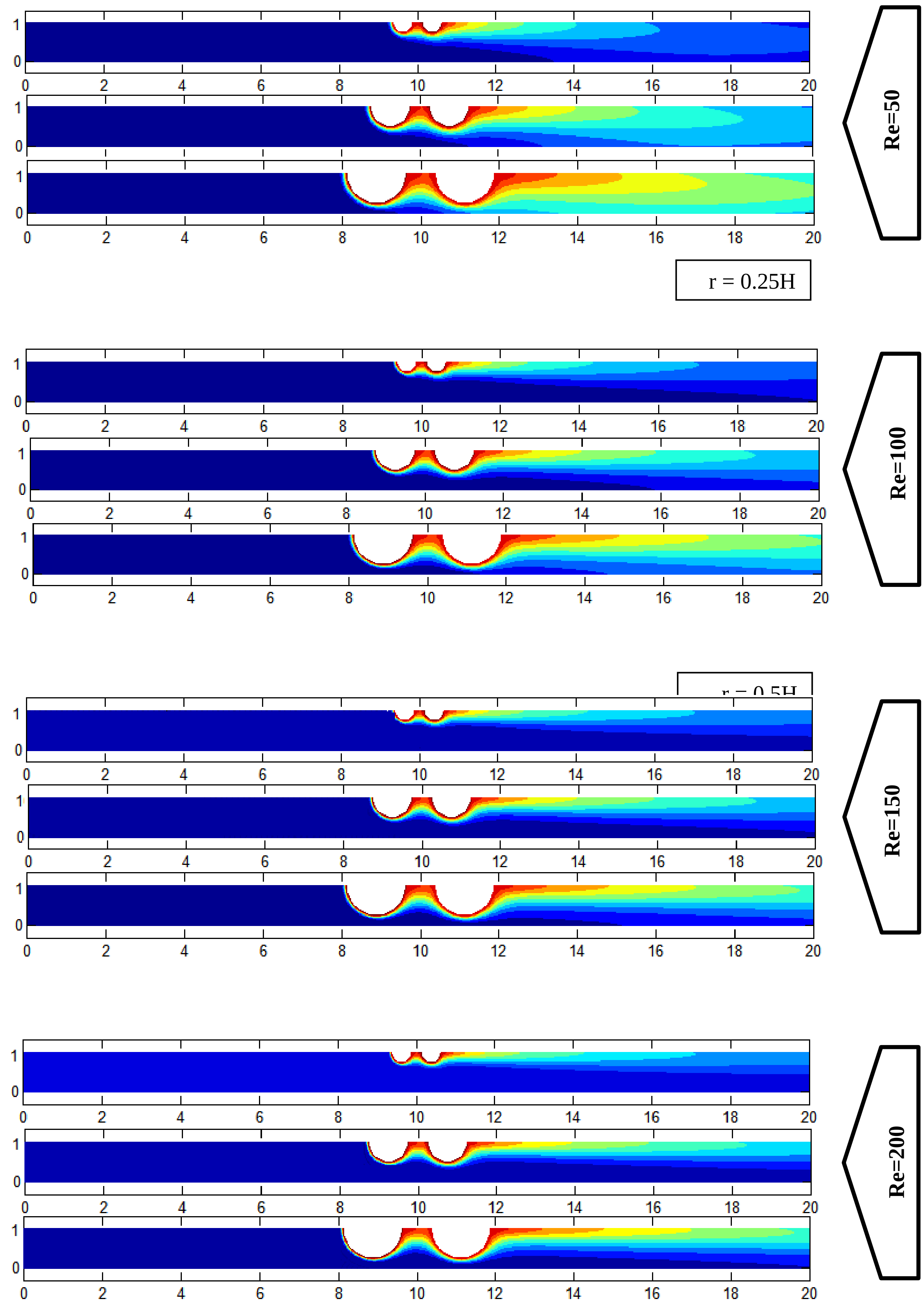
الشكل (7): شكل مركبة السرعة في الاتجاه الأفقي على طول المحور العمودي ولقيم مختلفة من عدد دارسي داخل قناة مستوية الجريان فيها مكتمل النمو.



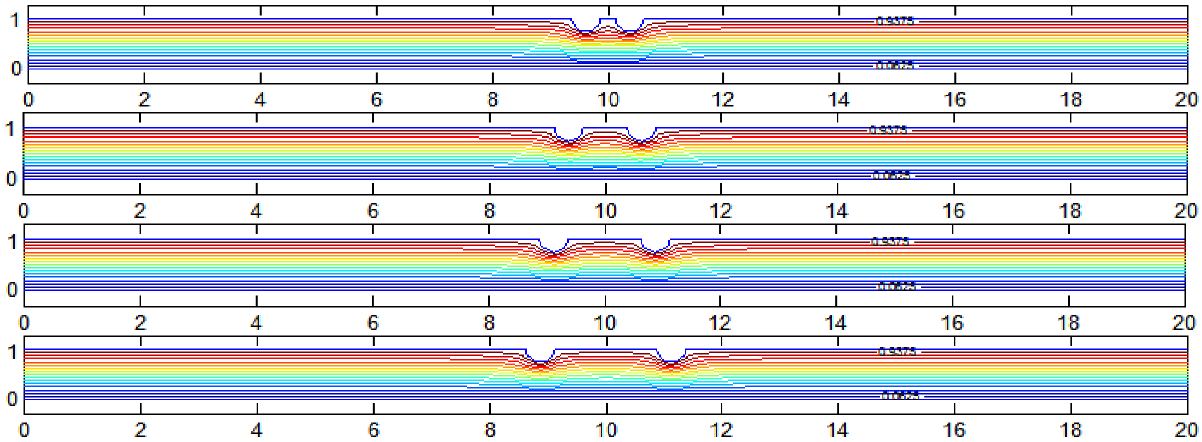
الشكل (8) : توزيع خطوط ثبوت درجات الحرارة داخل قناة مستوية عندما تكون قيم كل من عدد رينولدز والمساميـــــــة
($Re = 10 , \emptyset = 0.9$) ولقيم مختلفة من أعداد دارسي ($Da = (10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$)



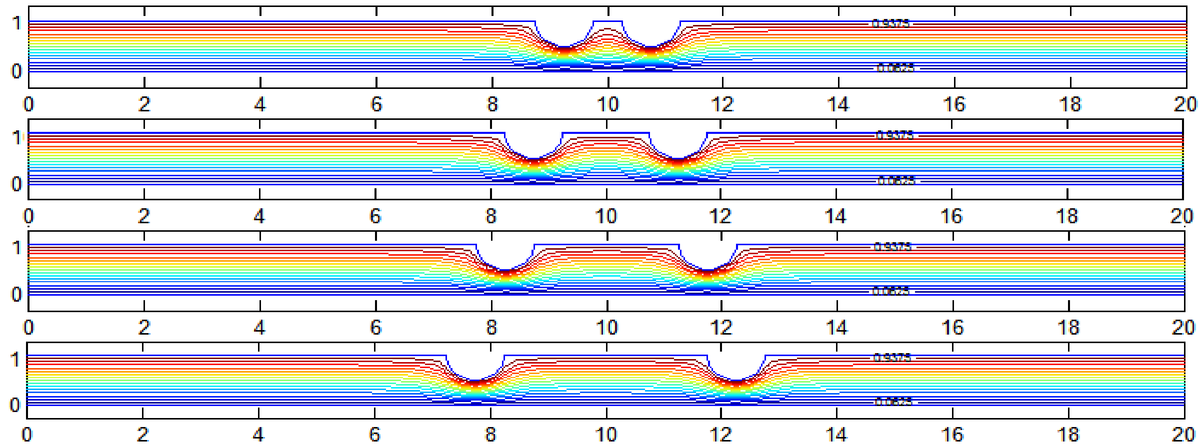
الشكل(9) : مقاطع توضح متجهات السرعة لحظة مرور المائع في مناطق التخصر عند Re=50 ولإنصاف اقطار مختلفة .(r = 0.25H,0.5H,0.75H)



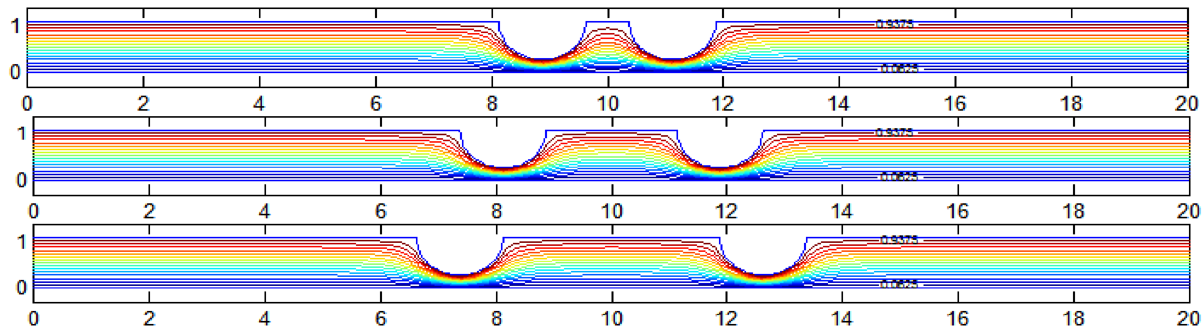
الشكل (10) : خطوط ثبوت درجات الحرارة عند $r = 0.25H ,0.5H ,0.75H$ وعندما تكون المسافة فيما بين المقاطع نصف الدائرية $P = 3r$ ولقيم مختلفة من أعداد رينولدز.



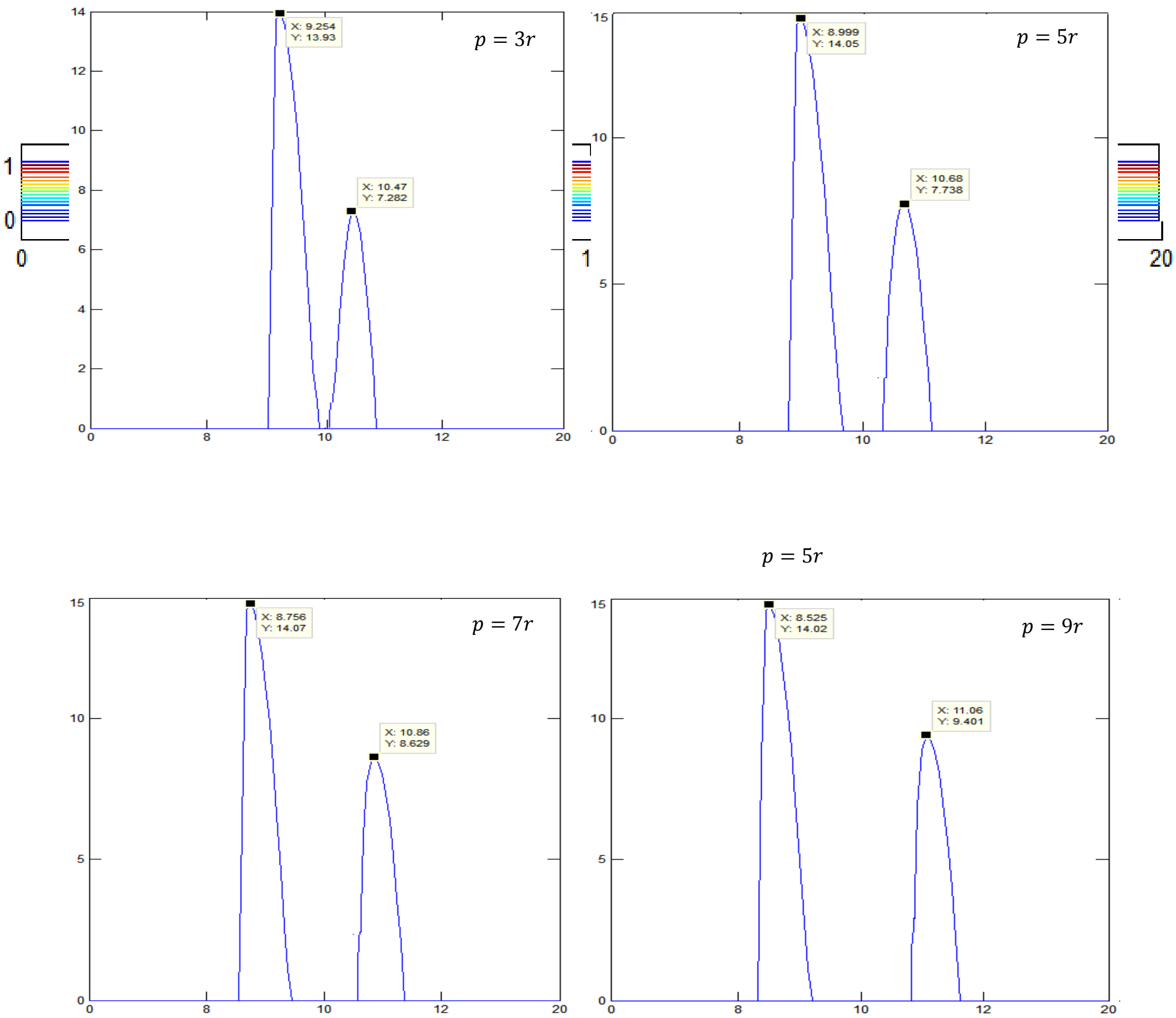
الشكل(11):خطوط دالة الانسياب للمائع عند $Re = 50, r = 0.25H$ ولقيم مختلفة من المسافة فيما بين المقاطع النصف دائرية .



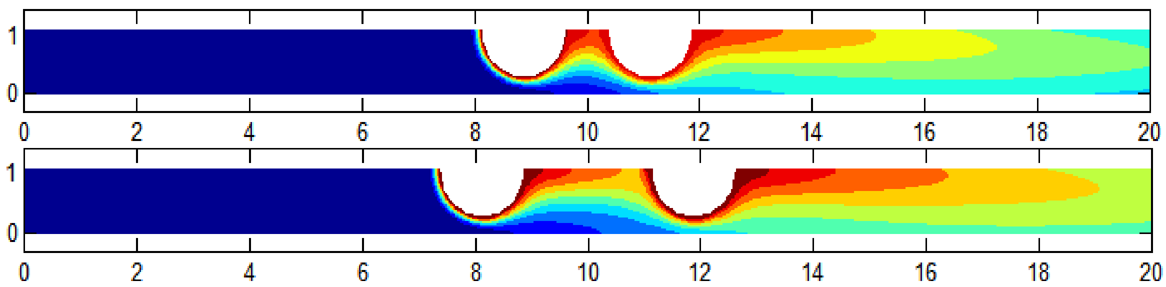
الشكل(12):خطوط دالة الانسياب للمائع عند $Re = 50, r = 0.5H$ ولقيم مختلفة من المسافة فيما بين المقاطع النصف دائرية .



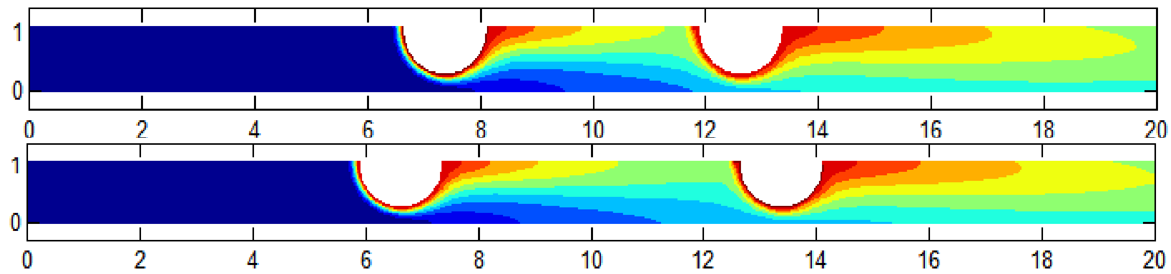
الشكل(13):خطوط دالة الانسياب للمائع عند $Re = 50, r = 0.75H$ ولقيم مختلفة من المسافة فيما بين المقاطع النصف دائرية .

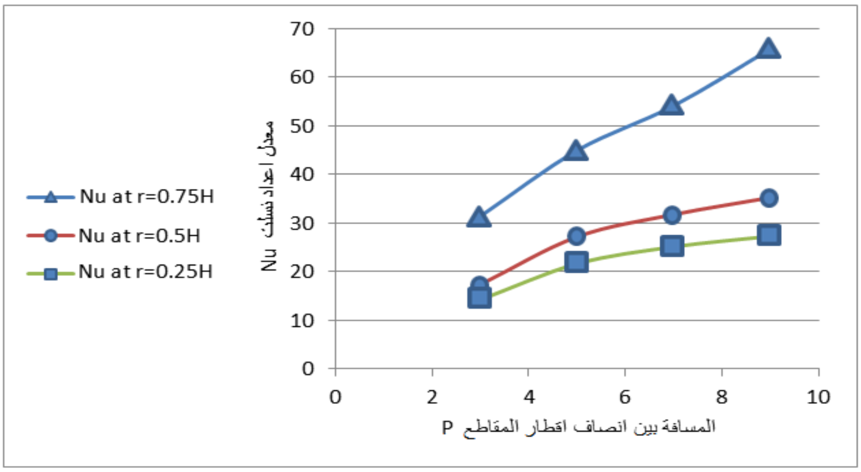


الشكل (14) : توزيع قيم عدد نسلت الموضعي على المقاطع النصف دائرية عند $(r = 0.25H, Re = 50)$ ولأربع قيم مختلفة من المسافة بين مركزي هذه المقاطع .

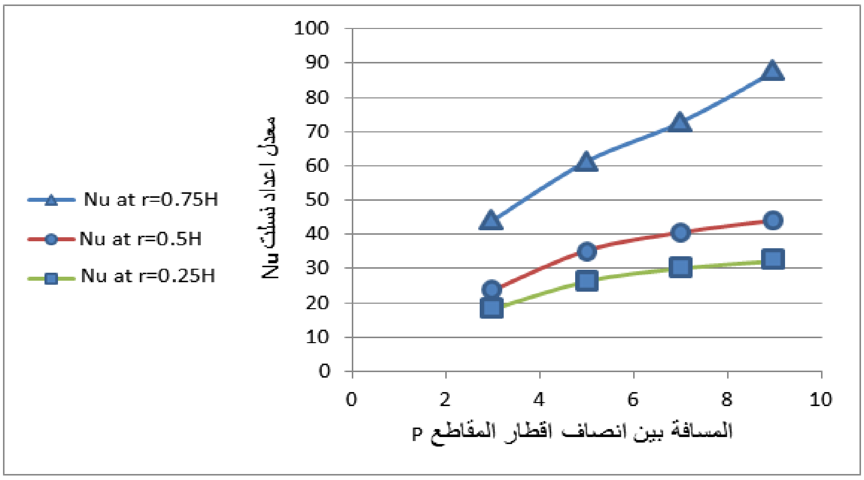


الشكل (15) : خطوط ثبوت درجات الحرارة عند $Re = 50, r = 0.75H$ ولقيم مختلفة من المسافة فيما بين المقاطع النصف دائرية .

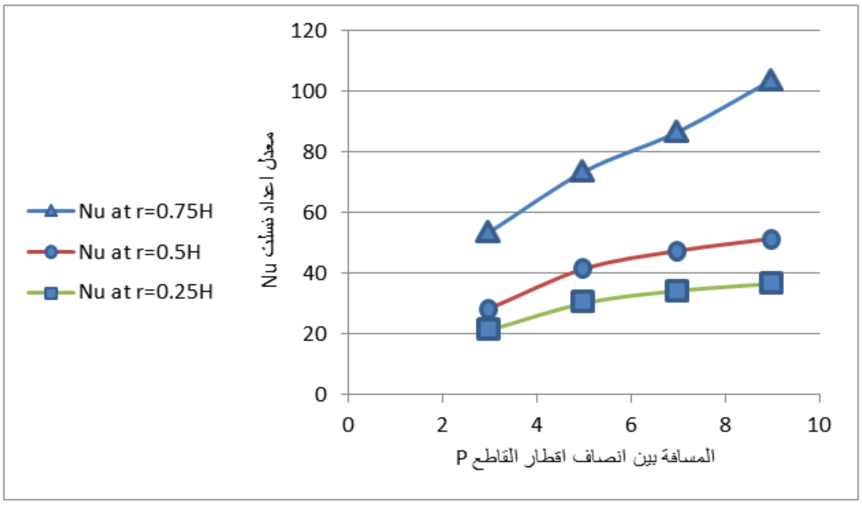




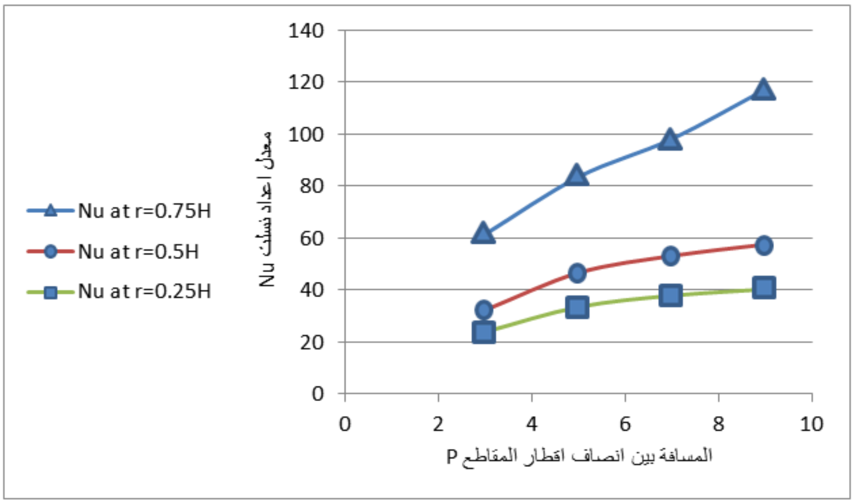
الشكل (16) : معدل اعداد نسلت لقيمة انصاف اقطار مختلفة وعند مسافات مختلفة بين المقاطع وفي حالة عدد رينولدز Re=50



الشكل (17) : معدل اعداد نسلت لقيمة انصاف اقطار مختلفة وعند مسافات مختلفة بين المقاطع وفي حالة عدد رينولدز Re=100



الشكل (18) : معدل اعداد نسلت لقيمة انصاف اقطار مختلفة وعند مسافات مختلفة بين المقاطع وفي حالة عدد رينولدز Re=150



الشكل (19) : معدل اعداد نسلت لقيمة انصاف اقطار مختلفة وعند مسافات مختلفة بين المقاطع وفي حالة عدد رينولدز Re=200

الجدول (1) : يبين أفضل مسافة (P) بين المقاطع نصف الدائرية التي أعطت أفضل أداء حراري للمصدر الأول والثاني ؛ عند قيم أعداد رينولدز مختلفة .

	$r = 0.25H$	$r = 0.5H$	$r = 0.75H$
Re = 50	*P=7r*	*P=5r*	*P=9r*
Re = 100	*P=5r*	*P=5r & 7r*	*P=9r*
Re = 150	*P=9r*	*P=5r*	*P=7r*
Re = 200	*P=9r*	*P=7r*	*P=7r*

الجدول (2) : يبين أفضل مسافة (P) بين المقاطع نصف الدائرية التي أعطت أفضل أداء حراري للمصدر الحراري الثاني ؛ عند قيم أعداد رينولدز مختلفة

	$r = 0.25H$	$r = 0.5H$	$r = 0.75H$
Re = 50	*P=9r*	*P=9r*	*P=9r*
Re = 100	*P=9r*	*P=9r*	*P=9r*
Re = 150	*P=9r*	*P=9r*	*P=9r*
Re = 200	*P=9r*	*P=9r*	*P=9r*