

تحليل عددي لتأثير جسيمات النانو في جريان المائع وانتقال الحرارة بالحمل القسري في مجرى يحوي مقاطع مثلثة مختلفة

** د. امير سلطان داود
**ameer@uomosul.edu.iq

*عمار احمد محمود
*eng.ammar.salo@gmail.com

*, **, * قسم الهندسة الميكانيكية- كلية الهندسة- جامعة الموصل

قبل: 2019-10-23

استلم: 2019-5-15

الخلاصة

تناول هذا البحث تحليل عددي لمحاكاة ثلاثية الابعاد لانتقال الحرارة وجريان المائع بالحمل القسري قناة ذات مقطع مربع تحوي على اضلاع مختلفة الاشكال وتأثير اضافة الجسيمات النانوية. لتدفق حراري ثابت اعلى القناة واسفلها، وقد افترضت الدراسة أن المائع النانوي يخضع لفرضية احادي الطور إذ يعامل المائع الأساس (الماء) وجسيمات النانو (Al_2O_3) بوصفه خليطاً متجانساً وأن المائع النانوي غير قابل للانضغاط وجريانه مستقر وطباقي، وكانت جسيمات النانو المستخدمة بقطر 25 نانومتر بنسب تركيز حجمي (1-5)%. أُستخدم برنامج (ANSYS 18.1 FLUENT) الذي هو احد برامج ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) وبأستخدام طريقة الحجم المحدد (finite volume method) لحل المعادلات الحاكمة. وقد تُدرس في هذا البحث تأثير استخدام الاضلاع المختلفة وتراكيز جسيمات نانوية مختلفة في انتقال الحرارة وجريان المائع. باستخدام أضلاع (Ribs) اعلى القناة واسفلها بترتيبين متتاليين ومتعاقبين، وبعدد خمس أضلاع لكل سطح وبشكلين كال (المثلث نوع A والمثلث نوع B) وكانت قيمة نسبة العرض للارتفاع للاضلاع (aspect ratio) (2). عند خمس قيم مختلفة لأعداد رينولدز (300, 500, 700, 900 و 1200). بينت النتائج أن الاضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب تمثل كأفضل حالة من بين الاشكال التي تُدرست ولأعداد رينولدز جميعها. إذ كانت اعلى قيمة لمعيار الاداء تم تحقيقها (1.8561) باستخدام المائع النانوي بتركيز 5%، مقارنة بـ (1.5991) للقناة نفسها وبأستخدام الماء فحسب، وعند عدد رينولدز 1200. وعند تركيز حجمي 5% كانت زيادة معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (29.78%) وهي اكثر من زيادة الموصلية الحرارية التي تساوي (16.48%) عند استخدام المائع النانوي فحسب، اما عند اضافة الاضلاع المثلثة نوع (a) ذات الترتيب المتناوب وعند تركيز حجمي 5% كانت نسبة الزيادة في معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (143.03%). فضلاً عن ذلك عوامل أخرى مثل التشتت والحركة البراونية والترحيل الحراري ومولد الدوامات وهجرة الجسيمات النانوية التي تكون مسؤولة أيضاً عن تعزيز نقل الحرارة.

الكلمات المفتاحية:

الكلمات الرئيسية: المائع النانوي، الحمل القسري، الاضلاع، الجريان الطباقى.

<https://rengj.mosuljournals.com>

Email: alrafidain_engjournal1@uomosul.edu.iq

بدراساتها. عادةً ما يتعلق التحسين بزيادة معامل انتقال الحرارة على أحد جانبي المبادل الحراري أو كليهما. ويُعد السطح المُحسن، على سبيل المثال، إحدى المُعالجات الفيزيائية لزيادة الاضطراب، ومن ثم سيؤدي إلى معامل انتقال حرارة أعلى من السطح العادي [1]. في العموم فإن طرائق تحسين انتقال الحرارة يمكن أن تُقسم إلى ثلاث اقسام هي: الطرائق الفعالة (Active Methods)، الطرائق الذاتية (Passive Methods)، والطرائق المركبة (Compound Methods) التي هي مزيج

المقدمة:
تُعد أزمة الطاقة من أهم المشكلات التي يواجهها العالم، للزيادة الكبيرة والمستمرة في معدلات استهلاكها والنقص المتزايد في موارد الطاقة التقليدية وارتفاع أسعارها، لذا عمد الباحثون باتجاه زيادة كفاءة منظومات التبادل الحراري وتقليل حجمها لتقليل معدلات استهلاكها للطاقة. ووجدت الأبحاث الاقتصادية في الموارد والطاقة حافزاً لتوسيع الجهود في إنتاج مُبادلات حرارية أكثر كفاءة إضافة إلى ذلك فإن حجم المبادل الحراري ووزنه في بعض التطبيقات المُستخدمة في الفضاء والطيران يُعد من المتغيرات المهمة التي يجب أن يُهتم

عددية ووصف الجريان المضطرب و انتقال الحرارة في مجرى يحتوي اضلع واخاديد لمبادل حراري. تم ترتيب الاضلاع والاخاديد التي تتميز بتوزيع منفصل وميل بالتناوب على سطح الجدار الداخلي من قسم الاختبار. في البدء تم عرض بنية (هيكل) الجريان وتحليلها وخصائص نقل الحرارة. ولتشويش الاضلاع والاخاديد تتولد دوامات متعددة طويلة، والتي تؤثر بشكل كبير على اداء نقل الحرارة. وتمت دراسة عدد من المعلمات الهندسية كعدد الاضلاع والاخاديد، الخطوة وزاوية ميل الاضلاع والاخاديد على التوالي واثارها على نقل الحرارة والجريان. وأظهرت النتائج أن نسبة انتقال الحرارة (Nu/Nu_o) هي حوالي 1.58 إلى 2.46، في حين أن نسب معامل الاحتكاك (f/fo) هي حوالي 1.82 إلى 5.03. وأن قيمة معيار تقييم الأداء (PEC) من 1.19 إلى 1.68. فضلاً عن ذلك، يشير تحليل توليد الإنتروبي إلى أن تأثير الاضلاع والاخاديد هو مفيد جدا لديناميكا الحرارة.

بعد المراجعة الوافية للبحوث والدراسات ولقطة البحوث الذي تلقته دراسة الجريان وانتقال الحرارة عند دمج التأثيران وخاصة عند الجريان الطبقي ودراسة اشكال مختلفة لمساحة سطحية متساوية للأشكال تحقق عدالة المقارنة، ولما لهذا الجريان من أهمية كبيرة في تطوير مبادلات حرارية لها افضل قيمة لمعيار تقييم الأداء (PEC). جاءت فكرة البحث الحالي التي تدرس انتقال الحرارة وطبيعة جريان المائع بالحمل القسري الطبقي لقناة ذات مقطع مربع تحتوي على اضلاع بأشكال مختلفة على سطحها العلوي والسفلي وتأثير اضافة الجسيمات النانوية، ففي الدراسة الحالية دُرِس تأثير العاملين (وجود الاضلاع والجسيمات النانوية) وتأثير كل منهما في الآخر في انتقال الحرارة وطبيعة جريان المائع.

المائع النانوي:

ويشير مفهوم المائع النانوي كما صاغه الباحثون في مختبر أرغون الوطني في عام 1995 إلى فئة جديدة من سوائل النقل الحراري الممكن إنشاؤها باضافة جسيمات معدنية نانوية أو غير معدنية في المائع الرئيس [14].

الخصائص الفيزيائية والحرارية للمائع النانوي:

1: الكثافة:-

يمكن ايجاد كثافة المائع النانوي باستخدام معادلة الباحثان [Pack and Cho] [15].

$$\rho_{eff} = \Phi\rho_p + (1-\Phi)\rho_{bf} \dots \dots \dots (1)$$

2: الحرارة النوعية:-

يمكن ايجاد الحرارة النوعية عند ثبوت الضغط للمائع النانوي باستخدام معادلة الباحث [Khanafar] [16].

$$c_{p,eff} = \frac{(1 - \Phi)(\rho c_p)_{bf} + \Phi(\rho c_p)_p}{(1 - \Phi)\rho_{bf} + \Phi\rho_p} \dots \dots \dots (2)$$

3: اللزوجة الديناميكية:-

طور الباحث [Corcione] [17] علاقة تجريبية لحساب اللزوجة الديناميكية للمائع النانوي على اساس عدد كبير من البيانات التجريبية لعدد من الابحاث كما يتضح في ادناه

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = \frac{1}{1 - 34.87(\frac{d_p}{d_{bf}})^{-0.3}\Phi^{1.03}} \dots \dots \dots (3)$$

$$d_{bf} = 0.1 (\frac{6M}{N\pi\rho_{bf}o})^{1/3} \dots \dots \dots (4)$$

من الاولى والثانية. وتقتصر معظم طرائق تحسين نقل الحرارة على التقييد المتأصل للموصلية الحرارية للسوائل التقليدية [2-9]. قام الباحث [Gavara] [10] بأجراء بحث في الحمل الحراري للجريان الطبقي لسائل النانو (الماء والالومينا AL₂O₃) داخل ممر مستقيم يحوي اضلع مسخنة تتوزع بشكل متناظر على الجدار الداخلي وقد درس انتقال الحرارة والجريان لاعداد مختلفة من عدد رينولدز (Re) واحجام جزيئات متناهية الصغر نسب مختلفة للسائل النانوي (Φ). وقد وجد ان معامل الاحتكاك السطحي (f_{rs}) يرتفع على طول السطح البيئي بين السائل و الجدار الداخلي ويقف فجأة على الأسطح العلوية والسفلية للاضلع المسخنة للتسارع والتباطؤ في سرعة السائل على هذه الاسطح. ويزداد معامل الاحتكاك واعداد نسلت (Nu) بزيادة احجام جزيئات متناهية الصغر نسب للسائل النانوي. درس الباحثان [Ahmed and Yusoff] [11] انتقال الحرارة الطبقي والجريان لثلاثة انواع مختلفة للموائع النانوية (AL₂O₃ , CuO و SiO₂) المعلقة بجلايكولالإيثيلين، في ممر ذي مقطع مثلث يحوي على مجموعة اجنحة على التوالي مولدة للدوامات عند عدد رينولدز(Re) من (100-1200) وعند احجام جزيئات متناهية الصغر نسب للسائل النانوي (Φ) من % (1-4) وقطر جزيئات نانوية يتراوح من (25-85)nm وقد حصلوا ان ارتفاع اعداد نسلت (Nu) في احجام جزيئات متناهية الصغر نسب للسائل النانوي و عدد رينولدز (Re) له علاقة في زيادة إنحدار الضغط. وتنخفض اعداد نسلت (Nu) وإنحدار الضغط عند زيادة قطر الجزيئات النانوية. قام الباحثون [Khdher, Sidik, Mamat and Hamzah] [12] بدراسة عملية وعددية لإنحدار الضغط ومعامل انتقال الحرارة لجريان (Al₂O₃) والماء بوصفه مائعاً نانوياً بانبوب من النحاس بقطر داخلي (14.9)mm يحتوي على اضلاع على محيطه الداخلي وبابعاد مختلفة. وكان الجريان مضطرباً وعند فيض حراري ثابت (5000)w/m² وعند قطر جزيئات نانوية (13)nm عند احجام جزيئات متناهية الصغر نسب للسائل النانوي (Φ) من % (1-3) ووجد الباحثون انه عند زيادة عدد الاضلاع فإن مدى اعداد نسلت (Nu) تتراوح من (%241-%92) ومعامل الاحتكاك (fr) من (%25-%241) مقارنة مع تلك التي تحققت في انبوب من دون اضلاع. قام الباحث [Manca] [13] بدراسة عددية لانتقال الحرارة بواسطة الحمل القسري داخل قنوات تحتوي على أضلع (ribbed channels) مع سائل النانو (nanofluids). واستخدم مركب الماء مع جزيئات الالومينا (Al₂O₃) النانوية في قناة ثنائية الأبعاد مع تسليط تدفق حرارة منتظم على الجدران الخارجية للقناة (channel). وقد عُدت خصائص الماء وجزيئات الالومينا النانوية (nano Al₂O₃) ثابتة مع درجات الحرارة. واستخدمت جزيئات بحجم 38 nm وحجم جزيئات متناهية الصغر نسبي من (0-4)% وكان جريان السائل مضطرب وتتراوح اعداد رينولدز (Reynolds) بين 20000 إلى 60000 من ناحية أخرى استخدمت أضلع (ribs) مربعة ومستطيلة المقطع بترتيبات مختلفة وبأبعاد و ارتفاعات وخطوات مختلفة. وأشارت النتائج إلى زيادة انتقال الحرارة مع زيادة الحجم النسبي للجزيئات المتناهية الصغر مع زيادة في كمية انحدار الضغط، وكذلك تحسن انتقال الحرارة مع زيادة عدد رينولدز (Reynold) وزيادة واضحة في طاقة المضخة. قام الباحث [Zheng] وآخرون [14] بمحاكاة

تم وضع الاضلاع (Ribs) اعلى القناة واسفلها وبترتيب متناهي ومتعاقبين. بعدد خمس اضلاع لكل سطح. وبشكلين (المثلث نوع A والمثلث نوع B).



الشكل (2) يوضح نموذج الاضلاع المستخدم للدراسة مثلث نوع A و مثلث نوع B

الفرضيات :

لتسهيل دراسة اية مسألة لابد من وضع فرضيات لحل المعادلات والخروج بنتائج منطقية ومرضية وللحصول على المعادلات الحاكمة افترضت الفرضيات الآتية:

- 1- يخضع المائع النانوي لفرضية احادي الطور (single-phase approach) إذ يعامل المائع الأساس (الماء) وجسيمات النانو (Al_2O_3) بوصفها خليطاً متجانساً (Homogenous mixture).
- 2- المائع النانوي نيوتني (Newtonian fluid) وغير قابل للانضغاط وجريانه مستقر وطباقي.
- 3- تُعد الحالة المدروسة في حالة استقرار حراري (steady-state) إذ لا يوجد تغير مع الزمن.
- 4- الجدران الجانبية معزولة حرارياً (adiabatic).
- 5- جسيمات النانو المستخدمة بقطر 25 نانومتر وبنسب تركيز حجمي (5-1)%
- 6- تُحسب الموصلية الحرارية والحرارة النوعية واللزوجات والكثافة للمائع النانوي عند درجة حرارة الدخول وعند كل نسبة تركيز حجمي.

المعادلات الحاكمة:

أن معادلات (حفظ الكتلة وحفظ الزخم وحفظ الطاقة) هي الأساس لتمثيل المسائل النظرية وحلها جميعاً في مجال ميكانيكا الموائع وانتقال الحرارة بالاعتماد على الفرضيات التي ذكرت سابقاً لذا تكون المعادلات الحاكمة على وفق ما يأتي :

معادلة حفظ الكتلة :-

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho_{eff} \vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad \dots \dots (10)$$

وتكون الكثافة للسوائل غير مضغوطة ثابتة وتساوي مشتقة الكثافة صفراً

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad \dots \dots (11)$$

معادلات الزخم :

$$\rho_{eff} \frac{d\vec{V}}{dt} = \rho_{eff} \vec{F} - \nabla P + \mu_{eff} \nabla^2 \vec{V} \quad \dots \dots (12)$$

معادلة الطاقة energy equation :

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\mu_{eff}}{\rho_{eff} c_{peff}} \phi + \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{x^2} + \frac{\partial^2 T}{y^2} + \frac{\partial^2 T}{z^2} \right) \dots \dots (13)$$

المقاومة الحرارية (Θ):

حُسب أداء انتقال الحرارة بواسطة المقاومة الحرارية

$$\theta = \frac{T_{ave} - T_{in}}{As \cdot q} \quad \dots \dots (14)$$

4: الموصلية الحرارية:-

[17] علاقة تجريبية لحساب [Corcione] طور الباحث الموصلية الحرارية للمائع النانوي على اساس عدد كبير من البيانات التجريبية لعدد من الابحاث كما يتضح في ادناه

$$\frac{k_{eff}}{k_{bf}} = 1 + 4.4 \text{Re}^{0.4} \text{Pr}^{0.66} \left(\frac{T}{T_{fr}} \right)^{10} \left(\frac{k_p}{k_{bf}} \right)^{0.03} \Phi^{0.66} \quad (5)$$

$$\text{Re} = \frac{\rho_{bf} u_B d_p}{\mu_{bf}} \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$T_D = \frac{d_p^2}{6D} = \frac{\pi \mu_{bf} d_p^3}{2k_b T} \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$u_B = \frac{2k_b T}{\pi \mu_{bf} d_p^2} \quad \dots \dots \dots (8)$$

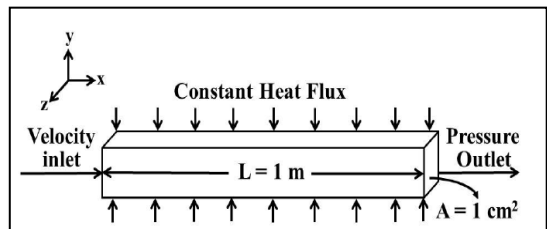
$$\text{Re} = \frac{2 \rho_{bf} k_b T}{\pi \mu_{bf}^2 d_p} \quad \dots \dots \dots (9)$$

ديناميك الموائع الحابية (CFD):

أستخدم برنامج انسز فلونت (ANSYS 18.1 FLUENT) هو احد برامج ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) وتم اختيار طريقة الحجم المحدد (finite volume method) لحل المعادلات الحاكمة. أن الاجراءات العددية لبرنامج (ANSYS 18.1) تقسم إلى خمسة أجزاء وهي: اولاً رسم الشكل الهندسي للحيز المختبر بالابعاد الحقيقية وتحديد اتجاه التدفق. ثانياً توزيع شبكة النقاط على أجزاء الحيز المرسوم جميعها إذ يجب اختيار امثل توزيع للنقاط وفي هذه المرحلة يتم اجراء اختبار الشبكة الامثل (Grid Independent Test). ثالثاً ضبط واختيار المعادلات الحاكمة إذ يحوي البرنامج على معادلات تغطي اغلب انواع الجريان وانتقال الحرارة. وتحديد نوع المائع المستخدم والمعدن وأدخال الشروط الحدية للحيز المدروس واختيار طريقة الحل إذ تم اختيار خوارزمية (Coupled algorithm) من طرائق الحل لربط الضغط والسرعة خلال الحل العددي. مع الاخذ بنظر الاعتبار أن تعتبر المحاكاة متقاربة عندما تكون ناتج كل المعادلات اقل من (10^{-6}). رابعاً تنفيذ الحل. خامساً النتائج. ولمعلومات اكثر عن خوارزميات الحل المستخدمة في برنامج (ANSYS 18.1 FLUENT) يمكن الاطلاع عليها بالمصادر [18].

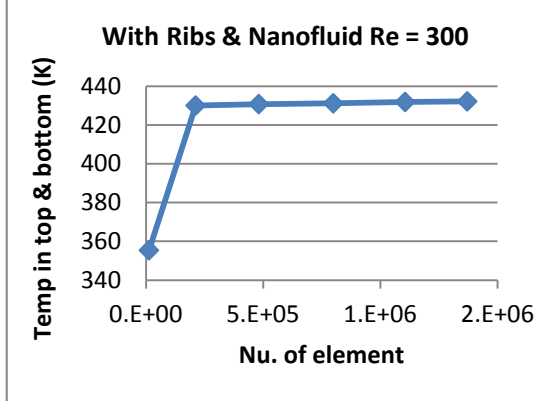
تمثيل الشكل الهندسي للمسألة :

يُمثل النموذج المختار في هذه الدراسة نموذج الباحث [Heris] [19] إذ تم تصميم وبناء هذا النموذج لدراسة انتقال الحرارة للجريان الطبقي للمائع النانوي. النموذج هو قناة ذات مقطع مربع مساحته 1 سم² ومصنوع من صفائح النحاس بسُمك 0.4 ملم بطول 1 متر. إذ يمكن أن يُعد نموذجاً مقترحاً لمبادل حراري. كما يتضح بالشكل (1)



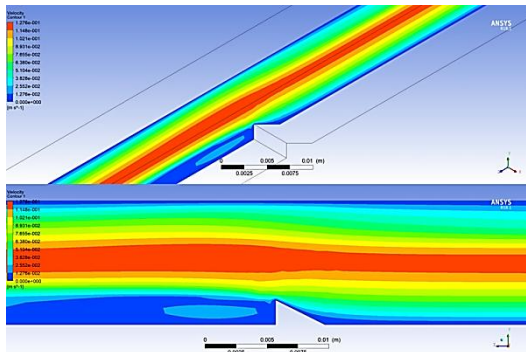
الشكل (1) يوضح النموذج الهندسي المستخدم للدراسة الباحث [Heris] [19]

تم اجراء تحليل الشبكة المستقل (Grid Independent Test) قبل الشروع بأخذ القراءات العددية إذ تم تقسيم القناة إلى ست قيم تمثل عدد العناصر على وفق ما يأتي (12475) عنصراً، (211887)، (481151)، (799140)، (1105566) و (1370592). وعند أقل قيمة مختبرة لعدد رينولدز (Re) مقدارها 300. تم اختيار عدد العناصر (1105566) إذ أصبحت النتائج مستقرة ومقاربة وكانت نسبة الفارق بين آخر قراءتين لدرجة الحرارة (0.074%) لأقل قيمة لعدد رينولدز، كما يتضح بالشكل (4).



الشكل (4) يوضح تحليل الشبكة المستقل للقناة المربعة بوجود أضلاع مثلثة نوع (a) متناوبة عند (Re.=300)

يوضح الشكلان (5) و (6) ملامح السرعة ودرجات الحرارة على التوالي في منتصف القناة في حين توضح الأشكال (7) ، (8)، (9) و (10) ملامح السرعة ودرجات الحرارة على التوالي لمناطق متفرقة من القناة، عند (Re.=700) عند (φ=0%) و (φ=3%). وتوضح الأشكال (11) ، (12) ، (13) ، (14) ، (15) و (16) إنحدار الضغط (ΔP) ومعامل الاحتكاك (fr) و معامل انتقال الحرارة (h) على طول القناة ، عند (Re.=700) عند (φ=0%) و (φ=3%). الخط الأحمر احداثياته نقطة البداية (0,0.01,0.005) ونقطة النهاية (1,0.01,0.005) اما الخطوط البيضاء فتمثل القيم على كامل سطح القناة.



الشكل (5) منظور ثنائي الأبعاد لملامح السرعة داخل القناة عند (Re.=700)

إذ أن T_{ave} هي معدل درجة حرارة القاعدة، T_{in} هي درجة حرارة دخول المائع و q هي كمية تدفق الحرارة عند القاعدة. معيار تقييم الأداء (PEC) **performance evaluation** (criteria):

حُسب التحسن في انتقال الحرارة التي تولده مولدات الدوامات (VGs) بمعيار تقييم الأداء

$$f = 2 \Delta p \frac{D}{L \rho_{eff} U_{ave}^2} \dots \dots (15)$$

$$PEC = \frac{(Nu_{ave}/Nu_{ave,s})}{(f/f_s)^{\frac{1}{3}}} \dots \dots (16)$$

إذ أن Nu_s و f_s ترمز للمقادير في حالة عدم وجود مولدات الدوامات والمائع النانوي

الشروط الحدية:-

لا بد من توفر هذه الشروط لحل اية معادلة تفاضلية , ولكنه يجب ان تكون متلائمة مع المعادلات الحاكمة والفرضيات.

1- منطقة الدخول (velocity inlet) : تم اختيار درجة حرارة دخول المائع النانوي 300 K وسرعة تدفق المائع النانوي عند الدخول بالاعتماد على عدد رينولدز (Re). وان ($u=U, v=w=0$ and) $(T=T_i=300K)$.

2- منطقة الخروج (pressure outlet) : تم فرض

ضغط المائع النانوي عند خروج مساوياً للصفر والجريان مكتملاً للنمو (= $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x}$)

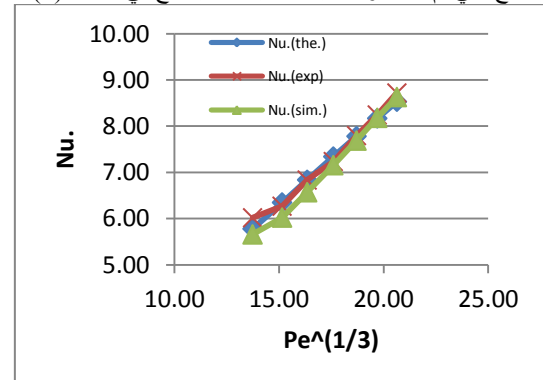
$$\left(\frac{\partial t}{\partial x}\right) = 0$$

3- السطح السفلي والعلوي : جريان المائع النانوي عند الجدار من دون انزلاق (no-slip) ($u=v=w=0$) و تدفق حراري ثابت (constant heat flux) اعلى القناة واسفلها مقداره 740 واط اي 37000 واط/متر² كما في تجربة الباحث (Heris).

4- السطحان الجانبيان : تُعد الظروف المحيطة التي على جانبي القناة معزولة حرارياً (adiabatic).

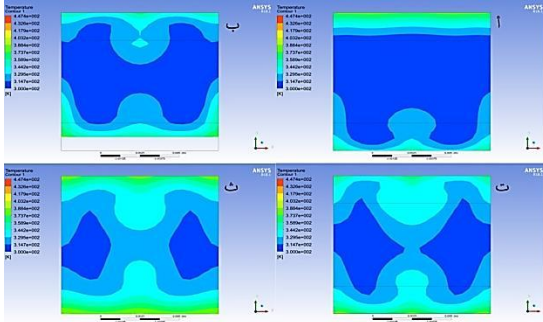
التحقق من صلاحية دايناميك الموائع الحسابية :-

تمت مقارنة النتائج الحالية مع النتائج السابقة بالإعتماد على قيمة عدد نسلت (Nu) وعدد بيكلت (Pe) التي تم الحصول عليها عملياً ونظرياً من قبل الباحث [Heris] [19] وكانت النتائج المستحصلة من برنامج (ANSYS 18.1) مقارنة لنتائج بحث الباحث إذ كان معدل الاختلاف 4% نظرياً و 6% عملياً مقارنة بالنتائج التي تم الحصول عليها عددياً. كما يتضح في الشكل (3).

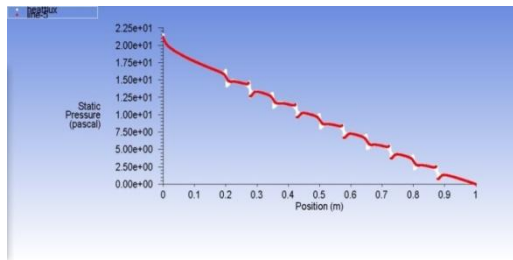


الشكل (3) يوضح النتائج العددية الحالية مع النتائج العملية والنظرية للباحث [Heris] [19]

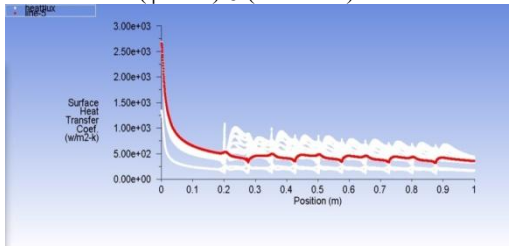
قناة مربعة بوجود اضلع مثلثة نوع (a) متناوبة (Staggered):



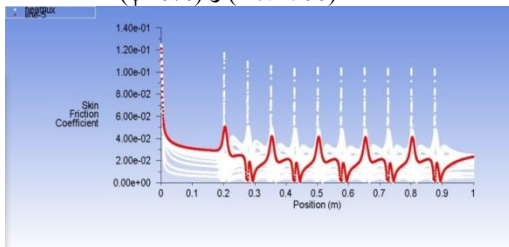
الشكل (10) يوضح ملامح درجات الحرارة عند (أ) مسافة 25 سم من بدء القناة، (ب) مسافة 50 سم من بدء القناة، (ت) مسافة 75 سم من بدء القناة و (ث)نهاية القناة. عند $(Re.=700)$ و $(\phi=3\%)$



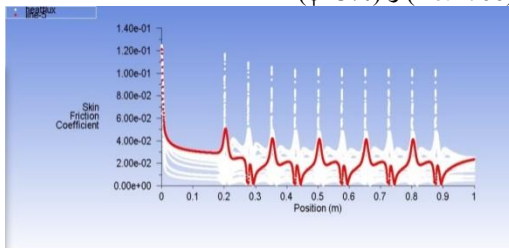
الشكل (11) يوضح إحدار الضغط (ΔP) على طول القناة. عند $(\phi=0\%)$ و $(Re.=700)$



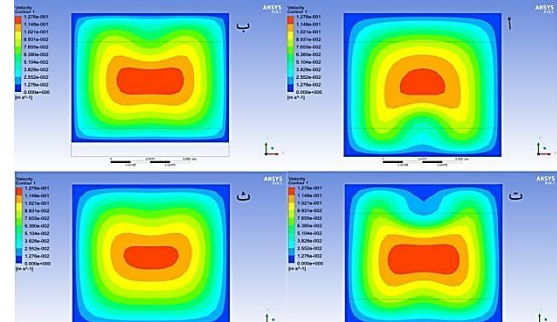
الشكل (13) يوضح معامل انتقال الحرارة (h) على طول القناة. عند $(\phi=0\%)$ و $(Re.=700)$



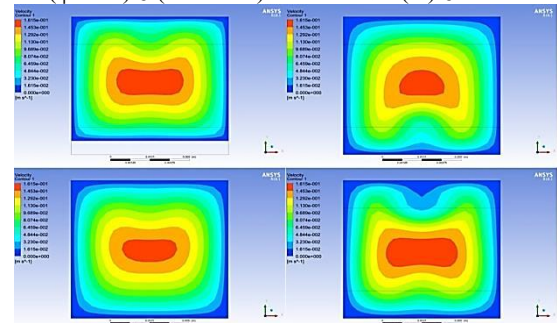
الشكل (15) يوضح معامل الاحتكاك (fr) على طول القناة. عند $(Re.=700)$ و $(\phi=3\%)$



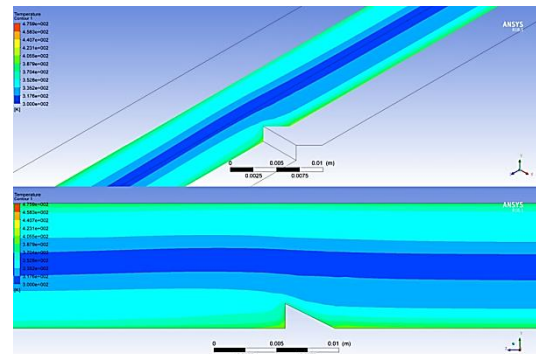
الشكل (12) يوضح معامل الاحتكاك (fr) على طول القناة. عند $(Re.=700)$ و $(\phi=0\%)$



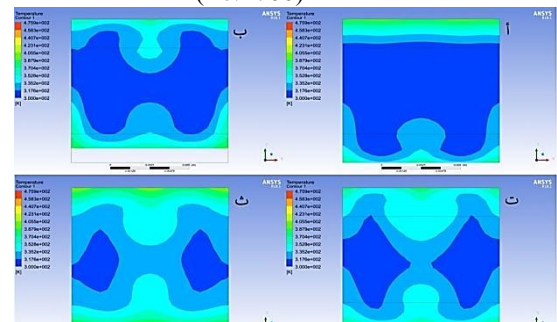
الشكل (7) يوضح ملامح السرعة عند (أ) مسافة 25 سم من بدء القناة، (ب) مسافة 50 سم من بدء القناة، (ت) مسافة 75 سم من بدء القناة و (ث)نهاية القناة. عند $(Re.=700)$ و $(\phi=0\%)$



الشكل (9) يوضح ملامح السرعة عند (أ) مسافة 25 سم من بدء القناة، (ب) مسافة 50 سم من بدء القناة، (ت) مسافة 75 سم من بدء القناة و (ث)نهاية القناة. عند $(Re.=700)$ و $(\phi=3\%)$

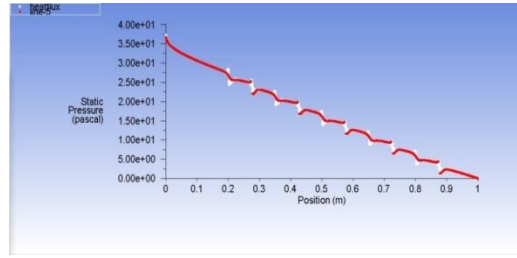


الشكل (6) منظور ثنائي الأبعاد لملامح درجات الحرارة داخل القناة عند $(Re.=700)$

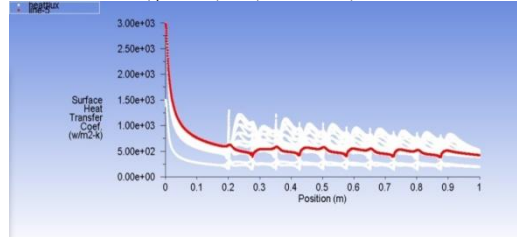


الشكل (8) يوضح ملامح درجات الحرارة عند (أ) مسافة 25 سم من بدء القناة، (ب) مسافة 50 سم من بدء القناة، (ت) مسافة 75 سم من بدء القناة و (ث)نهاية القناة. عند $(Re.=700)$ و $(\phi=0\%)$

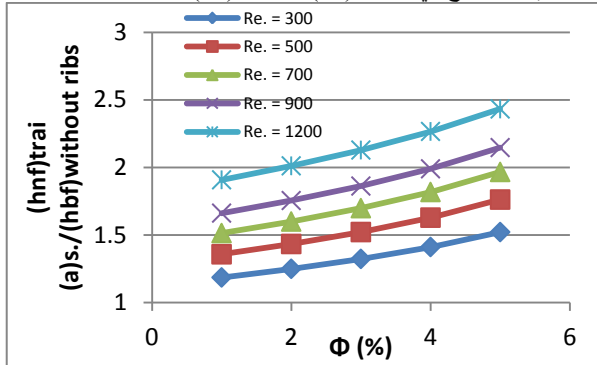
درجة الحرارة في تلك المناطق. ويلاحظ ان اضافة الجسيمات النانوية حسن من المقاومة الحرارية ويزداد التحسين بزيادة تركيز المادة النانوية. وتؤدي زيادة تركيز حجم الجسيمات إلى زيادة في معامل انتقال الحرارة وبالتالي زيادة في عدد نسلت. ويرجع ذلك إلى زيادة في الموصلية الحرارية للسوائل وزيادة في معدل تبادل الطاقة الناتجة عن الحركة غير المنتظمة والفضوية للجسيمات فانقصة الدقة في المائع [20]. فضلاً عن ذلك، يؤثر عدد رينولدز (Re) بشكل كبير على خصائص نقل الحرارة. إذ تؤدي زيادته إلى ارتفاع سرعة وتدفق درجة حرارة المائع، مما يؤدي بدوره إلى قيمة أعلى لعدد نسلت. عند عدد رينولدز 1200 وعند تركيز حجمي 5% كانت زيادة معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (29.78%) وهي أكثر من زيادة الموصلية الحرارية التي تساوي (16.48%) عند استخدام المائع النانوي فحسب، اما عند اضافة الاضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتناوب وعند تركيز حجمي 5% كانت زيادة معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (143.03%) وهي أكثر من زيادة الموصلية الحرارية التي تساوي (16.48%). فضلاً عن ذلك عوامل أخرى مثل التشبث والحركة البراونية والترحيل الحراري ومولد الدوامات وهجرة الجسيمات النانوية قد تكون مسؤولة أيضاً عن تعزيز نقل الحرارة، كما يتضح في الشكل (16) والشكل (17).



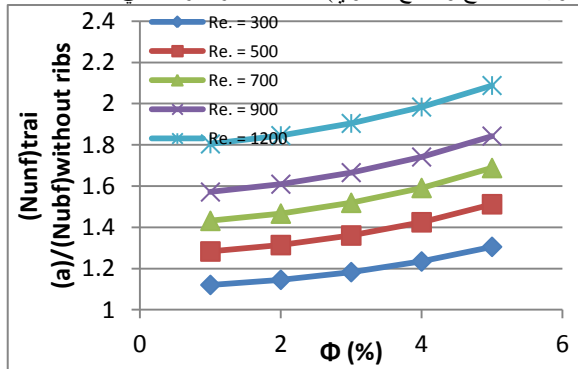
الشكل (14) يوضح إنحدار الضغط (ΔP) على طول القناة. عند ($\phi=3\%$) و ($Re=700$)



الشكل (16) يوضح معامل انتقال الحرارة (h) على طول القناة. عند ($\phi=3\%$) و ($Re=700$)



الشكل (16) يوضح العلاقة بين عدد رينولدز و(نسبة معامل انتقال الحرارة للأضلاع المثلثة نوع (A) إلى معامل انتقال الحرارة من دون الأضلاع والمائع النانوي) عند نسبة تراكيز حجمي مختلفة



الشكل (17) يوضح العلاقة بين عدد رينولدز و(نسبة عدد نسلت للأضلاع المثلثة نوع (A) إلى عدد نسلت من دون الأضلاع والمائع النانوي) عند نسبة تراكيز حجمي مختلفة

معامل الأداء (PEC) :-

ان اعلى قيمة لمعامل الأداء كانت للأضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب عند اعداد رينولدز جميعها، ويزداد التحسين بزيادة تركيز المادة النانوية.

جريان المائع وتأثره بالجسيمات النانوية والأضلاع أعلى واسفل القناة :-

مقارنة النتائج للحالات المدروسة والاستنتاج

الإنحدار بالضغط :-

يُعد إنحدار الضغط مُعلمة مهمة جدا في دراسة جريان المائع وانتقال الحرارة في الجريان الطبقي (الصفائحي) مما له من علاقة بقدرة وسعة المضخة وتأثيره على قيمة معامل الأداء (PEC). ان اعلى إنحدار للضغط كان للمثلث نوع (B) ثم للمثلث نوع (A) على التوالي وبالترتيب المتناوب. ثم للمثلث نوع (B) ثم للمثلث نوع (A) على التوالي للترتيب المتعاقب عند نسبة تركيز حجمي (0%) و (3%) و (5%) على التوالي. وان الترتيب المتعاقب اعطى اقل قيمة لإنحدار الضغط مقارنة للترتيب المتناوب. و ان الافضل من ناحية إنحدار الضغط كان للمثلث نوع (A) للترتيب المتعاقب وان اسوء حالة كانت للمثلث نوع (B) للترتيب المتناوب. ويرجع ذلك الى ان حالة المثلث نوع (B) للترتيب المتناوب تولد دوامات داخلية التي تؤدي الى زيادة الإنحدار بالضغط، إذ تميز بتوليد دوامات تحتاج الى فرق ضغط عالي لكي تتكون. ويلاحظ ان إنحدار الضغط يزداد بزيادة تركيز المائع النانوي بسبب زيادة اللزوجة للمائع النانوي.

المقاومة الحرارية :-

ان افضل حالة كانت للأضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب عند السرعة البطيئة وللأضلاع المثلثة نوع (B) ذات الترتيب المتناوب عند السرعة العالية. واعطت الأضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتناوب استقراراً عند اعداد رينولدز جميعها بفارق قليل عن افضل حالة للمقاومة الحرارية للحالتين السابقتين الذكر على الرغم من احتوائها على حيز ميت الا ان الدوامات التي تكونت حالت من دون ارتفاع درجة الحرارة في تلك المناطق. ويلاحظ ان اضافة الجسيمات النانوية حسن من المقاومة الحرارية ويزداد التحسين بزيادة تركيز المادة النانوية.

معامل انتقال الحرارة :-

ان افضل حالة كانت للأضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب عند السرعة البطيئة وللأضلاع المثلثة نوع (B) ذات الترتيب المتناوب عند السرعة العالية. واعطت الأضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتناوب استقراراً عند اعداد رينولدز جميعها ما عدا ($Re=1200$) بفارق قليل عن افضل حالة للمقاومة الحرارية للحالتين السابقتين الذكر على الرغم من احتوائها على حيز ميت الا ان الدوامات التي تكونت حالت من دون ارتفاع

التشتت والحركة البراونية والترحيل الحراري ومولد الدوامات وهجرة الجسيمات النانوية التي تكون مسؤولة أيضاً عن تعزيز نقل الحرارة.

8- أدت إضافة الأضلاع والجسيمات النانوية الى زيادة عدد نسلت ومن ثم الى تحسين انتقال الحرارة.

المصادر

1. Reay, D.A., Heat transfer enhancement – a review of techniques and their possible impact on energy efficiency in the UK. Heat Recovery Syst. CHP 11 (1), 1–40. 1991.
2. Bergles, A.E., 1999. Enhanced heat transfer: endless frontier, or mature and routine. Paper C565/082/99. Proceedings of the UK National Heat Transfer Conference, Heriot-Watt University. IMechE, Bury St Edmunds, September.
3. M.R. Salem, R.K. Ali, R.Y. Sakr and K.M. Elshazly, "Experimental Study on Convective Heat Transfer and Pressure Drop of Water-Based Nanofluid Inside Shell and Coil Heat Exchanger," PhD Dissertation, Faculty of Engineering at Shoubra, Benha University, Cairo, Egypt, June 2014, DOI: 10.13140/RG.2.2.31958.75846
4. H.I. Abu-Mulaweh, "Experimental Comparison Between Heat Transfer Enhancement Methods in Heat Exchangers", The International Journal of Mechanical Engineering Education, vol. 31(2), pp. 160–167, 2003.
5. F.C. EuanSomerscales and Arthur E. Bergles "Enhancement of Heat Transfer and Fouling Mitigation", Advances in Heat Transfer, vol. 30, pp. 197–253, 1997.
6. A.E. Bergles, "Techniques to Enhance Heat Transfer", in Handbook of Heat Transfer, 3rd ed., W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho, Eds., McGraw-Hill, New York, pp. 11.1–11.76, 1998.
7. A. Dewan, P. Mahanta, K. SumithraRaju and P. Suresh Kumar, "Review of Passive Heat Transfer Augmentation Techniques", Proc. Instn Mech. Engrs, Vol. 218, Part A: J. Power and Energy, A04804 © IMechE 2004.
8. A.B. Ganorkar and V.M. Kriplani, "Review of Heat Transfer Enhancement in Different Types of Extended Surfaces", International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), vol. 3(4), pp. 3304–3313, April 2011.

ان جريان المائع يزداد عند قم الأضلاع وللتناظر حول المحور الطولي للقناة في حالة الترتيب المتتالي للأضلاع يجري المائع في خطوط مستقيمة وسط القناة، اما في حالة الترتيب المتعاقب للأضلاع ينعدم التناظر حول المحور الطولي مما يجعل المائع يسلك مساراً متموجاً الى حد ما متأثراً بالأضلاع. فضلاً عن ذلك يزداد جريان المائع عند زيادة تركيز الجسيمات النانوية. وتبلغ أعلى قيمة لمعامل الاحتكاك (fr) , ولمعامل انتقال الحرارة (h) في منطقة الدخول (entrance region) وهي منطقة يكون فيها الجريان غير مكتمل حرارياً , وتزداد قيمة معامل الاحتكاك (fr) ومعامل انتقال الحرارة (h) عند اضافة الجسيمات النانوية وكذلك عند اضافة الأضلاع. ويلاحظ أن معامل انتقال الحرارة (h) وعند أول ضلع في منطقة الدخول يسجل أعلى قيمة من ثاني ضلع. ويسجل الترتيب المتناوب للأضلاع أقل قيمة لإنحدار الضغط مقارنة مع الترتيب المتعاقب للأضلاع جميعها.

الاستنتاجات :-

ان اهم الاستنتاجات والتوصيات التي تم التوصل اليها في هذه الدراسة التي تلخص محاكاة ثلاثية الابعاد لانتقال الحرارة وجريان المائع بقناة ذات مقطع مربع تحوي على اضلاع مختلفة الاشكال وتأثير اضافة الجسيمات النانوية. وبعد مناقشة الاشكال جميعها الناتجة عن هذه الدراسة تم التوصل الى اهم الاستنتاجات التي تضمنها هذا البحث على وفق ما يأتي :

- 1- تُمثل الاضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب افضل حالة من بين الاشكال التي دُرست ولجميع اعداد رينولدز.
- 2- اظهر الترتيب المتعاقب للأضلاع اقل مستوى لإنحدار الضغط مقارنة مع الترتيب المتتالي ولجميع الاشكال.
- 3- يزداد إنحدار الضغط وتقل المقاومة الحرارية ويزداد معامل انتقال الحرارة ويزداد معامل الاداء كلما زاد عدد رينولدز.
- 4- يؤثر تغيير عدد رينولدز في كمية الحرارة المنتقلة من سطح القناة الى المائع في منطقة الدخول (entrance region) وهي منطقة يكون فيها الجريان غير مكتمل حرارياً وسبب ذلك أن سمك الطبقة المتاخمة اقل ما يمكن في منطقة الدخول. إذ لُحظ ان أعلى قيمة لعدد نسلت تكون في منطقة الدخول للقناة، ويكون الجريان في المناطق البعيدة مكتمل حرارياً لذا تبقى قيمة نسلت فيها ثابتة، وادى استخدام الأضلاع والجسيمات النانوية الى زيادة عدد نسلت في جميع هذه المناطق.
- 5- كانت أعلى قيمة لمعيار الاداء تم تحقيقها باستخدام الاضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب (1.8561) باستخدام المائع النانوي بتركيز 5% , مقارنة (1.5991) للقناة نفسها باستخدام الماء فحسب.
- 6- هناك ارتفاع في إنحدار الضغط عند استخدام المائع النانوي إذ لم يتم استخدام المعادلات الكلاسيكية وتم استخدام معادلات حديثة تعطي نتائج قريبة من النتائج المختبرية إذ يعود سبب ارتفاع إنحدار الضغط الى ارتفاع قيمة اللزوجة للمائع النانوي ولكن هذا الارتفاع يقابله ارتفاع في معامل انتقال الحرارة.
- 7- عند عدد رينولدز 1200 وعند تركيز حتمي 5% كانت زيادة معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (29.78%) وهي اكثر من زيادة الموصلية الحرارية التي تساوي (16.48%) عند استخدام المائع النانوي فحسب. اما عند اضافة الأضلاع المثلثة نوع (a) ذات الترتيب المتناوب وعند تركيز حتمي 5% كانت زيادة معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (143.03%). فضلاً عن ذلك عوامل أخرى مثل

- grooved heat exchanger tube based on entropy generation analysis,” *Applied Thermal Engineering*, 2016
15. Pack, B. C., and Cho, Y. I., Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles, *Experimental Heat Transfer*, vol. 11, no. 2, pp. 151–170, 1998.
 16. Khanafar, K., Vafai, K., and Lightstone, M., Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two-Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 46, no. 19, pp. 3639–3653, 2003.
 17. Corcione, M., Rayleigh–Bénard Convection Heat Transfer in Nanoparticle Suspensions, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 32, pp. 65–77, 2011.
 18. ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.1, Help System, Coupled Field Analysis Guide, ANSYS, Inc.
 19. Heris, S.Z.; Nassan, T.H.; Noie, S.H.; Sardarabadi, H.; Sardarabadi, M. Laminar convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid through square cross-sectional duct. *Int. J. Heat Fluid Flow* 2013, 44, 375–382.
 20. Xuan, Y.; Li, Q. Heat transfer enhancement of nanofluids. *Int. J. Heat Fluid Flow* 2000, 21, 58–64.
 9. A.N. Mahureand and V.M. Kriplani, “Review of Heat Transfer Enhancement Techniques”, *International Journal of Engineering Research and Technology*, ISSN 0974-3154, vol. 5(3), pp. 241–249, 2012.
 10. M. Gavara, “Asymmetric forced convection of nanofluids in a channel with symmetrically mounted rib heaters on opposite walls,” *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications: An International Journal of Computation and Methodology* 62, 11, 884-904, 2012
 11. H. E. Ahmed and M. Z. Yusoff, “Thermal enhancement of triangular duct using compound of vortex generators and nanofluids,” *Heat Transfer Engineering*, 2017
 12. A. B. M. Khdher, N. A. C. Sidik, R. Mamat, W. A. W. Hamzah, “Experimental and numerical study of thermo hydraulic performance of circumferentially ribbed tube with Al₂O₃ nanofluid,” *International Communication in Heat and Mass Transfer*, 69, 34-40, 2015
 13. O. Manca, S. Nardini, D. Ricci, “A numerical study of nanofluid forced convection in ribbed channels,” *Applied Thermal Engineering*, 37, 280- 292, 2012
 14. N. Zheng, P. Liu, F. Shan, Z. Liu, W. Liu, “Numerical investigations of the thermal-hydraulic performance in a rib-

Numerical Analysis of Effect of Nano-particles on Fluid Flow and Heat Transfer by Forced Convection in Channel with different triangle configuration

Ammar A. Mahmood

M.Sc. student Mech. Eng./Thermal and Fluid
Collage of Engineering – University of Mosul
E-mail : eng.ammar.salo@gmail.com

Dr. Amir S. Dawood

professor
Collage of Engineering -University of Mosul
E-mail : amirsd1954@yahoo.com

Abstract

This research presents a numerical analysis of the three-dimensional simulation of heat transfer and fluid flow included forced convection through a square-section channel with different ribs and the effect of addition of nanoparticles with constant heat flux up and down the channel. The single-phase approach of Nano-fluid is employed; it is assumed that the base fluid (water) and nanoparticles (Al_2O_3) are treated as a homogeneous mixture. The study assumes that the Nano-fluid incompressible, steady and laminar. The nanoparticles used in 25 nanometers and with volumetric concentration (1-5) %. ANSYS 18.1 FLUENT is a computational fluid dynamics (CFD) program. The finite volume method was used to solve the ruling equations. To ensure accuracy of the results, the validity was performed with previous studies of the channel and under the same boundary conditions and the result was Compatible. By using ribs at the top and bottom of the channel in two alignment inline and staggered, and five ribs per surface, and in tow shapes (triangle A and triangle B). The aspect ratio is equal to (2). with five different values for Reynolds numbers (300, 500, 700, 900 and 1200). The results showed that triangular ribs type (A) with staggered alignment represent the optimal state of the all studied shapes and at all Reynolds numbers. The maximum value of the performance evaluation criteria (PEC) was 1.8561 and the use of Nano-fluid at a concentration of 5% compared to 1.5991 for the same channel using water only, and at Reynolds number 1200. At 5% volume concentration, the heat transfer coefficient (h) was 29.78% higher than the thermal conductivity increase of 16.48% when using only the Nano-fluid. When adding the triangular ribs type (A), the increase in heat transfer coefficient (h) is equal to (143.03%). Actually, other factors such as dispersion, Brownian motion, hermophoresis, vortex generator, and nanoparticles migration also are responsible for the enhancement of convective heat transfer.

Keywords: nanofluid; convective heat transfer; Ribs; laminar flow