دراسة عددية لتأثير الخواص الحرارية على الانتقال الحراري للسريان في القنوات الدقيقة

عبد المشتاق عابد حسين

المستخلص

يستخدم سريان السوائل خلال القنوات الدقيقة لتبديد الحرارة المتولدة في المنظومات الهندسية صغيرة الحجم وهو ما يؤثر على أداء هذه المنظومات تأثيراً كبيراَ. ولقد تمت دراسة هذا النوع من السريان خلال السنوات الماضية بغرض الحصول على علاقات تحليلية للانتقال الحراري. بيد أنه لسوء الحظ اتضح وجود اختلاف كبير بين السريان في القنوات الدقيقة إذا ما قورن بالسريان في القنوات الكبيرة.

وقد تم في هذا البحث عمل دراسة عددية للسريان الانسيابي غير الانضغاطي المنتظم أحادي الطور في القنوات الدقيقة ذات التدفق الحراري الجداري المنتظم، وستتم دراسة سريان أنواع مختلفة من السوائل - من بينها زيت المحركات وجليكول الإثيلين والزئبق - خلال قنوات دقيقة ذات مقاطع متعددة، كما ستتناول الدراسة بالتفصيل تأثير التغير الحراري للخواص المختلفة - مثل معامل الانتقال الحراري والحرارة النوعية والكثافة ورقم برانتل - على معامل الاحتكاك والفقد في الضغط ورقم بواسل ورقم ناسلت، وستتم دراسة تلك الخواص منفردة ومجتمعة لمعرفة تأثيرها على معدلات الانتقال الحراري.

وقد أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها للسريان المحوري المتماثل ثنائي الأبعاد للماء في القنوات الدقيقة أن درجة الحرارة السطحية تتأثر تأثرا كبيراً بتغير خواص المائع وتؤثر بالتالي على رقم ناسيت، كما تتأثر معدلات تغير السرعة مما يسبب اختلافا كبيراً عن الحالة التي تكون فيها خواص المائع ثابتة. كما تظهر النتائج أن الفقد الكبير في الضغط في القنوات الدقيقة يختلف اختلافاً بيناً عن نظيره في حالة الخواص الثابتة، وعلى العكس من ذلك فإن الاختلافات لا تكون كبيرة في حالة استخدام زيت المحركات بديلاً عن الماء.

وقد تم كذلك إجراء تمثيل أولي لحالة السريان ثلاثي الأبعاد للماء في قنوات دائرية المقطع لدراسة التأثير ثلاثي الأبعاد، لمقارنة تأثير تغير خواص المائع، وأظهرت النتائج تأثيراً شبيهاَ بحالة السريان ثنائي الأبعاد، مع ظهور فروق واضحة في الحرارة المتوسطة ورقم ناسيلت، مما يستوحب دراسة أخرى في هذا المجال في المستقبل.

Numerical study of the effect of thermo-physical properties on heat transfer of fluids through micro-ducts

Abdul Mushtaq Abid Hussain

Abstract

Micro-channels, with their high surface area to volume ratio, have high heat dissipation capacity and thus play an important role in micro-electro-mechanical systems and electronic devices. In micro-pipes, the axial conduction and radial convection influences the heat flow and hydrodynamic characteristics, apart from the radial conduction, axial convection and viscous dissipation. The axial convection, radial convection and viscous dissipation effects are one of the reasons for differences in convective heat transfer flow characteristics between conventional and micro-pipes. The variations of fluid properties in micro-convection are much stronger due to steeper temperature gradients and hence its role is significant. The other reasons being scaling effects, such as rarefaction are neglected in the present work.

The present work investigates the influence of property variations, density $\rho(T)$, dynamic viscosity $\mu(T)$, thermal conductivity $k(T)$ and specific heat at constant pressure $C_p(T)$ on micro-convective laminar flow characteristics with entrance affects. The direct effects due to the variations of heat transfer and fluid-flow parameters, $\rho(T)$, and $\mu(T)$, affect the velocity and temperature gradient near the wall region. The indirect effects due to the variations of fluid-thermal parameters, $Cp(T)$ and $k(T)$ affect the temperature field, hence $\rho(T)$, and $\mu(T)$, are affected.

Numerical simulations are performed for forced convective fluid flows through two-dimensional axisymmetric micro-pipe to predict the flow behavior and thermal development using different fluids like water, engine oil, and air. The conservation equations for pipe-flows are solved in the pure continuum regime to reach the steady state solution. These fluid flows are simulated at different diameters and inlet velocities, and at two different boundary conditions. The two boundary conditions of constant wall heat flux rate and constant wall temperature are assumed. The effects of constant and variable thermo-physical properties, at the inlet boundary condition on heat-transfer and fluid flow characteristics like Nusselt number, pressure drop and skin-friction is examined.

The computed results in two-dimensional axisymmetric micro-pipes for water and air show that the wall temperature is significantly influenced by variable fluid properties, thereby affects the Nusselt number. Also, the velocity gradients are affected by considering the variable fluid properties, hence differences in skin-friction are observed as compared to results at constant properties. The predicted pressure drop drastically differs at low diameters for constant and variable properties. The results using engine oil shows fewer differences in Nusselt number, pressure drop and skin-friction at constant and variable properties inlet conditions.