
ABSTRACT

Forced convective heat transfer in a vertical channel symmetrically heated with a constant heat flux, and packed with saturated porous media, has been investigated theoretically and experimentally in the present work.. The packed channel was made with spherical glass particle of three different diameter (1, 3, 10 mm) respectively; in a range $(0.0416 < d < 0.416)$ where (d) is the ratio of particle diameter to inner channel radius.

The water flow in the packed channel is assumed to be hydrodynamic - ally fully developed and the effects of inertia, porosities and Brinkman friction are taken into account in the momentum equation .The Four momentum equation physical models have been used, defined as the general model (DFBM), Brinkman model (DBM), general without Brinkman model (DFM) and Darcy model (DM) in this study.

The initial variable values and boundary conditions are similar for both theoretical and experimental investigation. The results are obtained for $470 < Re$ (Reynolds number) < 1694 , $10 < Re_d$ (particle Reynolds number) < 350 and $2.1 \text{ kw} / \text{m}^2 < q_w$ (heat flux) $< 7.4 \text{ kw} / \text{m}^2$.Radial velocity distribution which obtained from solving the four model momentum equation show that the velocity at channel core have approximately the same value and its begin to increase into the maximum value at the channel wall in (DFM) model, and at (0.5, 1.47, 4.57) percent of radius from channel wall for ($D_p = 1, 3, 10 \text{ mm}$) in (DBM) and (DFBM) models, while it remain constant at (DM) models.

The channeling phenomena enhanced heat transfer rate in (DFBM) and (DBM) when compared to prediction of the popular (DM) model. Decreasing particle diameter will increased the channeling phenomena and pressure drop through the packed bed. The numerical result also

Abstract

shows the effect of increasing Reynolds number, which tends to increase pressure drop, heat transfer and thermal entry length, while Increasing particle Reynolds number will increase drag coefficient and decrease friction factor.

The experimental setup, using a copper tube as a packed bed assembly with (48 mm) inside diameter and (1150 mm) heated length with a constant heat flux boundary condition. The test section was vertically oriented with water flowing against gravity and packed with glass spheres (1, 3, 10 mm) diameter respectively. The results show an increase in local Nusselt number when Reynolds number and heat flux increase, the heat transfer rate increase as the particle diameter increase at the range of (1 – 3 mm) and decrease with increasing particle diameter at the range (3 – 10 mm). The friction factor decrease with increases the particle diameter and particle Reynolds number. Many empirical relations, who obtained experimentally, are in good agreement with the numerical correlation. The following correlation are presented the analogy between friction factor and heat transfer coefficient:

$$\text{St Pr}^{2/3} = 0.0212 (F)^{0.32639} \quad d = 0.04166, \varepsilon = 0.356$$

$$\text{St Pr}^{2/3} = 0.0223 (F)^{0.325941} \quad d = 0.125, \varepsilon = 0.382$$

$$\text{St Pr}^{2/3} = 0.0126 (F)^{0.478248} \quad d = 0.4166, \varepsilon = 0.462$$

الخلاصة:

يتضمن البحث الحالي إجراء بحث عملي و نظري لانتقال الحرارة بالحمل القسري خلال قناة عمودية مسخنة بفيض حراري ثابت و مملوءة بوسط مسامي مشبع. حشوة القناة المسامية و التي تتكون من كرات زجاجية بأقطار مختلفة (1, 3, 10 mm) تستخدم على التوالي لمديات نسبة القطر (قطر الجزيئة / نصف قطر القناة) تتراوح بين (-0.0416 - 0.416).

تم اعتبار تمام التشكيل الهيدروليكي و بسرعة كاملة النمو لجريان الماء خلال الوسط المسامي و قد اخذ بنظر الاعتبار تأثير عزم القصور و تغير المسامية و تأثير الاحتكاك المعروف بتأثير برنكمان في أربعة نماذج لمعادلة الزخم هي النموذج العام (DFBM) و نموذج برنكمان (DBM) و النموذج العام بدون برنكمان (DFM) و نموذج دارسي (DM).

الشروط الابتدائية و الحدية التي استخدمت في الدراسة النظرية مماثلة للشروط التي اتخذت في الدراسة العملية و النتائج التي تم الحصول عليها هي لمديات رقم رينولد $Re (470-1694)$ ، رقم رينولد بالاعتماد على قطر الجزيئة $Re_d (10 - 350)$ و فيض حراري ثابت يتراوح بين $(2.1 - 7.4 \text{ kw} / \text{m}^2)$. توزيع السرعة للماء بالاتجاه المحوري و التي تم الحصول من حل النماذج الأربعة لمعادلة الزخم عددياً يثبت إن السرعة في قلب القناة تكون تقريباً متساوية للنماذج الأربعة و لكنها تبدأ بالزيادة إلى أقصى قيمة وتكون عند الجدار لنموذج (DFM). أما نموذجي (DFBM) و (DBM) فتكون عند $(0.5, 1.47, 4.57)$ نسبة من نصف القطر مقاس من جدار القناة عند استخدام جزيئات ذات (1, 3, 10 mm) على التوالي بينما تبقى ثابتة لنموذج (DM).

ظاهرة التخذد (Channeling) تؤدي إلى زيادة معدل انتقال الحرارة لنموذجي (DFBM) و (DBM) عند مقارنتها مع نموذج دارسي الشائع الاستخدام في الأوساط المسامية. الانخفاض في قطر الجزيئة يؤدي إلى زيادة ظاهرة التخذد و فقدان ضغط الماء المار خلال القناة المسامية. و تبين النتائج العديدة أيضاً أن زيادة رقم رينولد (Re) يؤدي

إلى زيادة في فقدان الضغط، معدل انتقال الحرارة و طول منطقة الدخول الحراري. كذلك زيادة قطر الجزيئة يؤدي الى زيادة (drag coefficient) ونقصان (friction factor).

الجهاز العملي المستخدم يتكون من اسطوانة من النحاس بقطر داخلي 48 mm و بطول (1150 mm) مسخنة بفيض حراري ثابت، جزء الاختبار يكون عمودي يمر خلاله الماء باتجاه معاكس للجاذبية و مملوء بكرات زجاجية بأقطار مختلفة هي (1, 3, 10 mm) على التوالي.

النتائج العملية بينت زيادة رقم نسلت الموضعي (Nu_x) مع زيادة رقم رينولد (Re) و الفيض الحراري المستخدم. أما معدل انتقال الحرارة فيزداد بزيادة قطر الجزيئة لمدى (1 - 3 mm) و يقل بزيادة قطر الجزيئة لمدى (3 - 10 mm). نقصان معامل الاحتكاك مع زيادة قطر الجزيئة و رقم رينولد (Re_d).

تم الحصول على العديد من المعادلات التجريبية وقد وجد إن هناك توافق جيد بينها و بين النتائج المستحصلة من التحليل النظري. المعادلات التالية تبين العلاقة بين معامل انتقال الحرارة ومعامل الاحتكاك :

$$St Pr^{2/3} = 0.0212 (F)^{0.32639}$$

$$d = 0.04166, \varepsilon = 0.356$$

$$St Pr^{2/3} = 0.0223 (F)^{0.325941}$$

$$d = 0.125, \varepsilon = 0.382$$

$$St Pr^{2/3} = 0.0126 (F)^{0.478248}$$

$$d = 0.4166, \varepsilon = 0.462$$