University of Mosul
College of Engineering

Hydrothermal Investigation of a Nanofluid Flow in a Compound Microchannels

M.Sc. Thesis in

Mechanical Engineering

Presented by

Sarab Salih Shekho Abdul Jabbar

Supervised by

Lect. Dr. Ahmed Fouad Mahmood Al-Neama

May/2023 A.D **Shawwal/1444 H.D**

Abstract

In this study, the influence of laminar forced convective heat transfer using aluminum oxide-water (Al_2O_3/water) and copper oxide-water (CuO/water) nanofluids as working mediums with volume concentration (φ) of 4% in unique compound microchannel heat sinks (MCHSs) has been quantitatively explored using computational fluid dynamics (CFD) modeling. Three distinct compound MCHS configurations were simulated, each with a bottom circular cavity and an above reentrant (namely, rectangular (Case_1), trapezoidal (Case_2), or semicircular (Case_3)), and their cooling efficacy was compared to that of standard straight rectangular MCHS (Case_0) in terms of total pressure drop penalty (ΔP_t), averaged heat transfer coefficient (h_{avg}), averaged Nusselt number (Nu_{avg}), total thermal resistance (R_{th}), and performance evaluation criterion (PEC).

In this work, the numerical study assumed that the nanofluid is subject to the single-phase laminar flow hypothesis, which treats the base fluid (H_2O) and nanoparticles (Al_2O_3 and CuO) as a homogeneous mixture. The nanofluid flow is considered incompressible and steady-state. The volumetric flow rate (Q_{in}) ranges from 20 to 100 ml/min, and the fluid inlet temperature is set to 20 °C. On the MCHS base plate, a constant heat flux boundary condition of 100 W/cm^2 is imposed. Both nanoparticles used have a diameter of 47 nm, while thermophysical properties of nanofluid are temperature dependent.

The governing equations were solved using the ANSYS FLUENT 2022 R1 software, which is a computational fluid dynamics (CFD) program that employs the finite volume method (FVM). To ensure accuracy, the numerical results were validated using experimental and numerical data from the literature and good agreement was observed.

According to the findings of numerical studies conducted on four different types of MCHS using a hybrid heat transfer augmentation technique, the Nu_{avg} of rectangular reentrant MCHS (Case_1) within CuO/water nanofluid increased by 7.1%, while the total thermal resistance (R_{th}) of semi-circular reentrant MCHS (Case_3) within CuO/water nanofluid decreased by 16.8% when both were compared to their traditional MCHS (Case_0) counterparts using pure water at higher volumetric flow rates ($Q_{in} = 100\, ml/min$). This improvement in Nu_{avg} came at the expense of a 45.8% increase in ΔP_t when (Case_1) within CuO/water nanofluid is used instead of Case_0 using water as a coolant.

Furthermore, the compound MCHSs kept noticeably lower wall temperatures while incurring only marginally higher or comparable ΔP_t. This improved heat transfer is related to flow separation caused by throttling effects, fluid acceleration in the main flow, and fluid mixing intensification in the three newly proposed MCHSs. The present study is thought to be of practical importance because it sheds some light on the design of advanced MCHSs.

جامعة الموصل
كلية الهندسة

الاستقصاء الهيدروحراري لتدفق مائع نانوي في قنوات مايكروية مركبة

رسالة تقدم بها

سراب صالح شيخو عبدالجبار

شهادة الماجستير علوم
في الهندسة الميكانيكية / هندسة ميكانيكية

بإشراف

م.د. أحمد فؤاد محمود النعمة

شوال / ١٤٤٤هـ

أيار / ٢٠٢٣م

الخلاصة

في هذه الدراسة، تم استكشاف تأثير النقل الحراري بالحمل القسري الطباقي باستخدام السوائل النانوية كأوكسيد الألومنيوم - ماء (Al_2O_3/water) وأوكسيد النحاس - ماء (CuO/water) كمائع تبريد بتركيز حجمي (φ) بنسبة 4٪ في مشتَّات حرارية ذات قنوات ميكروية مركبة فريدة من نوعها باستخدام ديناميكا الموائع الحسابية (CFD). ثلاث اشكال مختلفة من المشتَّات الحراريَّة ذات القنوات الميكروية المركبة تم محاكاتها، حيث كل قناة يحتوي اسفلها على تجويف دائري وأعلاها على قناة (والتي هي مستطيلة (نموذج_1)، شبه منحرفة (نموذج_2) أو نصف دائرة (نموذج_3))، وقد تم مقارنة فعاليتهم في التبريد مع مشتَّت حراري يحتوي على قنوات ميكروية مستطيلة ومستقيمة (نموذج_0) من حيث هبوط الضغط الكلي، معدل معامل انتقال الحرارة، المقاومة الحرارية الكلية، ومعيار تقييم الاداء.

في هذا العمل، افترضت الدراسة العددية أن المائع النانوي يخضع لفرضية احادي الطور، والذي يعامل السائل الأساسي (الماء) والجسيمات النانوية (أوكسيد الالمنيوم وأوكسيد النحاس) كمزيج متجانس. جريان المائع النانوي تم اعتباره غير قابل للانضغاط ومستقر. يتراوح معدل التدفق الحجمي (Q_{in}) من 20 إلى 100 مللتر/ دقيقة، ودرجة حرارة دخول المائع تم تثبيتها عند 20 درجة مئوية. في اسفل المشتَّ الحراري، تدفق حراري ثابت مقداره 100 واط/سم٢ تم فرضها. كلا الجسيمات النانوية المستخدمة تملك نفس القطر وهو 47 نانومتر، بينما تعتمد الخواص الفيزيائية الحرارية للمائع النانوي على درجة الحرارة.

المعادلات الحاكمة تم حلها باستخدام برنامج انسز فلونت (ANSYS FLUENT 2022R1)، وهو أحد برامج ديناميكا الموائع الحسابية والذي يستخدم طريقة الحجم المحدود (FVM). ولضمان الدقة، تم التحقق من صحة النتائج العددية باستخدام البيانات التجريبية والعددية من البحوث السابقة ولوحظ انه هنالك توافق جيد.

وفقًا لنتائج الدراسات العددية التي أجريت على أربعة أنواع مختلفة من مشتَّات حرارية تحتوي على قنوات متناهية الصغر باستخدام تقنية تحسين انتقال الحرارة الهجين، معدل عدد نسلت للنموذج_1 مع أوكسيد النحاس/الماء كمائع نانوي زادت بمقدار 7.1٪، بينما المقاومة الحرارية الكلية للنموذج_3 مع أوكسيد النحاس/الماء كمائع نانوي قلت بمقدار 16.8٪ مقارنةً بالمشتَّ الحراري الذي يحتوي على قنوات مستطيلة ومستقيمة متناهية الصغر مع ماء فقط كمائع تشغيل وعند اعلى معدل تدفق حجمي (100 مللتر/ دقيقة). التحسن في معدل عدد نسلت قد أتى على حساب زيادة في هبوط

الضـغط الكلي بمقدار 45.8٪ عندما نموذج_1 مع أوكسـيد النحاس/الماء كمائع نانوي قد اسـتخدم بدلاً من النموذج_0 مع ماء فقط كمائع تشغيل.

علاوة على ذلك ، المشتَّات الحرارية الثلاث والتي تحتوي على قنوات متناهية الصغر حافظت وبشـكل ملحوظ على درجات حرارة منخفضـة للجدار بينما لم تتكبد سـوى هبوط ضـغط كلي هامشـي. التحســن بانتقال الحرارة في المبادلات الحرارية الثلاث المقترحة حديثاً له علاقة بانفصــال الجريان الناتج عن تأثير الخنق، تسـارع المائع في المجرى الرئيسـي، اشـتداد مزج المائع. يُعتقد أن الدراسـة الحالية ذات أهمية عملية لأنها تلقي بعض الضـوء على تصـميم مشـتَآت حرارية تحتوي على قنوات متناهية الصغر متقدمة.