



فصلنامه تحقیقات مکانیک کاربردی

جلد ۴، شماره ۱، صص ۳۱ الی ۴۰، تابستان ۱۳۹۱

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۶/۲۲

بررسی عددی انتقال حرارت یک نانوسیال غیرنیوتونی (کربواکسی متیل سلولز + Al_2O_3)

در یک محفظه بسته

امین فرزین - عضو هیأت علمی گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لنگرود
کمال عباسپورثانی - استادیار گروه تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان
حبیب کریمی - عضو هیأت علمی گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودسر

E-mail: AminFarzin@iaul.ac.ir

چکیده: در این تحقیق، به بررسی انتقال حرارت نانوسیالات در یک محفظه بسته با نانو سیال غیرنیوتونی پرداخته می‌شود. نانوسیال عامل با سیال پایه غیرنیوتونی (CMC) با نسبت حجمی متفاوت از نانوذره اکسید آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفته است. معادلات حاکم بر مساله به روش حجم محدود و با استفاده از الگوریتم سیمپل حل شده‌اند. همچنین نتایج سیال پایه نیوتنی و غیرنیوتنی با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش عدد رایلی جریان در سیال پایه باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود

واژه های کلیدی: نانوسیال، انتقال حرارت، محفظه بسته و غیرنیوتنی.

Numerical Investigation on Heat Transfer of a non-Newtonian Nano-Fluid (Carboxymethylcellulose+ Al_2O_3) in an Enclosure

A. Farzin, Member of Academy, Dept. of Mech. Eng., Langrood Islamic Azad University.

K. Abbaspoursani, Ass. Prof., The Faculty of Mech. Eng., Takestan Islamic Azad University.

H. Karimi, Member of Academy, Dept. of Mech. Eng., Roodsar Islamic Azad University.

Abstract: This study deals with the heat transfer of a non-Newtonian nano-fluid inside an enclosure. The working fluid is Carboxymethylcellulose (CMC) with various volume fractions of Al_2O_3 . The governing equations have been solved by finite volumes technique using simplex scheme. The results obtained for Newtonian and non-Newtonian fluids are compared with each others. A careful examination of results it reveals that increasing the Raylei number in base fluid cases an in increase in heat transfer rate.

Keywords: Nano-fluid, Heat transfer, enclosure and non-Newtonian.

۱- مقدمه

استفاده از سیستم‌های خنک کننده پیشرفته و بهینه، کاری اجتناب ناپذیر است. بهینه سازی سیستم‌های انتقال گرمای موجود، در اکثر مواقع به وسیله افزایش سطح‌آنها صورت می‌گیرد که همواره باعث افزایش حجم و اندازه این دستگاهها می‌شود، لذا برای غلبه بر این مشکل، به خنک کننده‌های جدید و موثر نیاز است و نانوسیالات به‌عنوان راهکاری جدید در این زمینه مطرح شده‌اند [۱]. نانو سیالات به علت افزایش قابل توجه خواص گرمایی، توجه بسیاری از دانشمندان را در سالهای اخیر به خود جلب کرده است، در برخی از تحقیقات، هدایت گرمای نانوسیالات، چندین برابر بیشتر از پیش بینی‌های تئوری است. از دیگر نتایج بسیار جالب، تابعیت شدید هدایت گرمای نانوسیالات و افزایش تقریباً سه برابری شار گرمای بحرانی آنها در مقایسه با سیالات معمولی است. البته به هر حال تحقیق در زمینه نانوذرات، دارای آینده‌ای بسیار گسترده است [۲]. در بسیاری از سیستم‌ها با انتقال گرمای ترکیبی، جابجایی آزاد بیشترین مقاومت را در برابر انتقال گرما بروز می‌دهد و نقش مهمی در طراحی یا عملکرد سیستم دارد. ابو ندا [۳]، تاثیرات زاویه‌ی انحراف یک محفظه‌ی انتقال حرارت مستطیل شکل شبیدار که با نانوسیال آب-مس پر شده است را مورد مطالعه قرار می‌دهد. محفظه دارای یک دیواره‌ی داغ و یک دیواره‌ی سرد و دو دیواره‌ی عایق می‌باشد. قاسمی [۴]، انتقال حرارت جابجایی طبیعی تناوبی را در یک محفظه‌ی انتقال حرارت مربع شکل بررسی نمود. دیواره‌ی سمت چپ دارای یک گرمکن است که شار حرارتی متناوبی را به محفظه وارد می‌کند، دیواره‌ی سمت راستی در دمای پایین بوده و سایر دیواره‌ها عایق حرارت می‌باشند. ابو ندا و همکارانش [۵]، انتقال حرارت جابجایی طبیعی را در یک محفظه‌ی انتقال حرارت مستطیلی شکل که دیواره‌ی سمت چپ آن در دمای بالا (T_H) و دیواره‌ی سمت راست آن در دمای پایین (T_C) قرار داشته و دیواره‌های بالا و

پایین آن عایق می‌باشند، بررسی نمود. در مقاله‌ی حاضر سعی شد به بررسی تغییرات پارامترهای مختلف بر میزان انتقال حرارت و حرکت سیال پرداخته شود. یعنی شکل هندسی محفظه از حالت مستطیلی خارج شده و همچنین نانوسیالات با پایه‌ی غیرنیوتونی به عنوان سیال عامل در انتقال حرارت در نظر گرفته شده‌اند.

۲- تشریح مساله

شامل یک محفظه مربعی به طول L است که دارای یک پله داغ به ابعاد h و d می‌باشد. تنها عاملی که باعث جریان سیال می‌شود، اختلاف دمای کف محفظه و سیال است، در نتیجه انتقال حرارت به صورت ترکیبی از رسانش و جابجایی طبیعی داریم. متغیر دیگر شرایط مرزی سطح پایینی (کف) محفظه است که به دو صورت «شار حرارت ثابت» و «دما ثابت» در نظر گرفته می‌شود. محفظه‌ای مربع شکل به ابعاد $0.1\text{ m} \times 0.1\text{ m}$ که گوشه‌ی بالا سمت راست آن به طول $0.03\text{ m} \times 0.03\text{ m}$ یک پله خورده است، محفظه‌ی مد نظر در این قسمت است. نسبت منطری پله در تمام تحلیل ثابت و برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود. برای شرایط مرزی شار ثابت، کف محفظه در معرض شار حرارتی ثابت $q'' = 600\text{ W/m}^2$ و دیگر دیواره‌ها در دمای ثابت $T_c = 300\text{ K}$ قرار دارند. در نانوسیالات نسبت حجمی نانوذرات در سیال پایه (ϕ)، به عنوان عامل موثری در خواص نانوسیال همواره مد نظر بوده است و تاثیر قابل ملاحظه‌ای در انتقال حرارت دارد. اثر این پارامتر هم در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. دو نسبت حجمی ۵٪ و ۱۰٪ را برای نانوسیالات مختلف به کار می‌بریم. فرضیات جریان آرام، حالت پایدار و جریان تراکم ناپذیری نیز برای ساده سازی در نظر گرفته شده است. برای حل عددی مساله از یک شبکه‌ی یکنواخت مستطیلی استفاده می‌کنیم. در مجموع یک شبکه بندی 100×100 یکنواخت ایجاد می‌گردد. هرچند بهتر است که در

معادله‌ی انرژی،

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\alpha_{nf}}{\alpha_f} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) \quad (4)$$

اما برای خواص نانوسیال ابتدا این فرض را در نظر می‌گیریم که مخلوط شامل سیال پایه و ذرات نانو به صورت یک سیال یکنواخت عمل نموده و دارای خواص فیزیکی و شیمیایی واحدی هستند. در واقع سیال را به صورت دوفازی در نظر نمی‌گیریم. چگالی موثر نانوسیال به صورت زیر محاسبه می‌گردد که در آن ϕ نسبت حجمی نانوذرات در سیال پایه است [۶]:

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_p \quad (5)$$

ضریب نفوذ حرارتی نانوسیال:

$$\alpha_{nf} = K_{nf} / (\rho C_p)_{nf} \quad (6)$$

و ظرفیت گرمایی نانوسیال به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_p \quad (7)$$

ضریب انبساط حرارتی نانوسیال:

$$(\rho\beta)_{nf} = (1 - \phi)(\rho\beta)_f + \phi(\rho\beta)_p \quad (8)$$

برای محاسبه لزجت دینامیک نانوسیال از رابطه Brinkman استفاده می‌کنیم:

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \phi)^{2.5}} \quad (9)$$

نزدیکی دیواره‌ها از شبکه بندی ریزتر استفاده شود، ولی با توجه به سادگی هندسه، این شبکه بندی یکنواخت تا حدود زیادی نیازهای تحلیل را برآورده نموده و باعث تسریع در انجام حل می‌گردد. مساله برای تعداد تقسیمات بیشتر و کمتر از ۱۰۰ نیز حل شد و نتایج مبین آن است که تعداد تقسیمات بالاتر از ۱۰۰ تاثیر زیادی در جواب‌های بدست آمده نداشته و با توجه به زمان لازم برای انجام محاسبات، همین تعداد از المان‌ها کافی است.

۳- معادلات حاکم بر مساله

معادلات حاکم بر مساله شامل معادلات پیوستگی، ممتوم و انرژی برای جریان آرام و جابجایی طبیعی حالت پایدار در یک محفظه‌ی دو بعدی را می‌توان به صورت زیر نوشت (در حالت بی بعد):

معادله‌ی پیوستگی:

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$

معادله‌ی ممتوم در جهت X:

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_f} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (2)$$

معادله‌ی ممتوم در جهت Y:

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \frac{(\rho\beta)_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_f} Ra Pr \theta + \frac{\mu_{nf}}{\rho_{nf} \alpha_f} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial Y} = -\frac{k_f}{k_{nf}} \quad 0 \leq X \leq 1, Y = 0 \rightarrow U = V = 0,$$

$$X = 1, 0 \leq Y \leq 0.7 \rightarrow U = V = 0, \theta = 0$$

$$0.7 \leq X \leq 1, Y = 0.7 \rightarrow U = V = 0, \theta = 0$$

$$X = 0.7, 0.7 \leq Y \leq 1 \rightarrow U = V = 0, \theta = 0$$

$$0 \leq X \leq 0.7, Y = 1 \rightarrow U = V = 0, \theta = 0$$

$$X = 0, 0 \leq Y \leq 1 \rightarrow U = V = 0, \theta = 0$$

شرایط اولیه‌ی بی بعد نیز به صورت زیر است:

$$t = 0 \rightarrow U = V = 0, \theta = 0$$

۲-۳- خواص سیالات و ذرات

جدول (۱) خواص فیزیکی آب و ذرات نانوی به کار رفته

را نشان می‌دهد [۷]

لزجت سیال پایه مطابق مدل پاورلا (Power-Law model):

$$\tau = k\dot{\gamma}^n, \quad \mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = k\dot{\gamma}^{n-1}$$

دمای مرجع:

$$\text{Reference Temperature} = 20^\circ\text{C} = 293\text{ K}$$

$$k = 0.08, \quad n = 0.84,$$

$$\dot{\gamma} : 50 - 600 \text{ s}^{-1} \rightarrow \mu : 0.029 - 0.043$$

۴- روش حل مسئله

مساله را با فرمول‌بندی ضمنی و حالت پایدار حل می‌کنیم.

دمای مرجع را معادل ۲۸۸/۱۶ کلوین در نظر می‌گیریم. مساله با

الگوریتم سیمپل حل می‌شود. معیار همگرایی کوچک کردن

مقادیر باقیمانده است. مقادیر باقیمانده را برای معادله پیوستگی

کوچکتر از 10^{-4} برای سرعت‌های راستای X و Y کوچکتر از

10^{-5} و برای معادله‌ی انرژی کوچکتر از 10^{-7} در نظر می‌-

گیریم. برای اطمینان از صحت روش حل مساله، نتایج با مرجع

[۱] مقایسه شده که این مقایسه در جدول (۲) آورده شده است.

۵- نتایج

شکل (۲) به بررسی انتقال حرارت با سیال آب پرداخته می‌-

رسانش حرارتی نانوسیال (برای نانوذرات کروی) از رابطه

Maxwell محاسبه می‌گردد:

$$K_{nf} = K_f \left[\frac{(k_p + 2k_f) - 2\phi(k_f - k_p)}{(k_p + 2k_f) + \phi(k_f - k_p)} \right] \quad (10)$$

که در آن k_p رسانش حرارتی نانوذرات و k_f رسانش حرارتی

سیال پایه است.

عدد ناسلت موضعی در کف محفظه:

$$Nu_s = \frac{h\ell}{k_f} \quad (11)$$

که در آن h ضریب انتقال حرارت جابجایی است،

$$h = \frac{q''}{T_s - T_c} \quad (12)$$

با استفاده از پارامترهای بی بعد می‌توان عدد ناسلت موضعی

را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$Nu_s(x) = \frac{1}{\theta_s(x)} \quad (13)$$

که در آن θ_s دمای بی بعد منبع حرارت (کف محفظه) است.

عدد ناسلت متوسط از انتگرال گیری عدد ناسلت موضعی در

طول منبع حرارتی به دست می‌آید.

۳-۱- شرایط مرزی و اولیه

با در نظر گرفتن پارامترهای بی‌بعد می‌توان شرایط مرزی و

اولیه بی بعد را به صورت زیر بازنویسی کرد:

۱-۵- بررسی مساله با سیالات غیرنیوتونی CMC

در اعداد رایلی کمتر، شیوه انتقال حرارت بیشتر به صورت رسانش و در اعداد رایلی بالاتر نقش انتقال حرارت به صورت جابجایی طبیعی پر رنگ تر می شود. (همانند بررسی با سیال پایه نیوتنی) با افزایش عدد رایلی قدرت جریان بیشتر شده و دمای بیشینه کف محفظه کمتر می شود، یعنی فرآیند خنک کاری بهتر می شود. شکل (۴) توزیع عدد ناسلت موضعی در کف محفظه پر شده با سیال CMC در اعداد رایلی 10^6 را نشان می دهد. در این حالت نقش رسانش در انتقال حرارت بیشتر است. با افزایش عدد رایلی و در نتیجه افزایش جابجایی سیال ناهموازی و آشفتگی نمودارها بیشتر می شود. همچنین عدد ناسلت جریان افزایش می یابد و دما کاهش پیدا می کند، به طوری که بهترین انتقال حرارت در عدد رایلی 10^6 روی می دهد.

نمودارهای شکل های (۵) و (۶) دمای بیشینه و عدد ناسلت متوسط را در کف محفظه بر حسب عدد رایلی برای آب و CMC نشان می دهد. روند کاهش دما با عدد رایلی برای هر دو سیال یکسان است اما آب انتقال حرارت بهتری نسبت به سیال دیگر انجام می دهد.

۲-۵- بررسی نانوسیال آب-اکسید آلومینیم

نمودار شکل (۷) دمای بیشینه کف برای آب و آب-اکسید آلومینیم در تمام اعداد رایلی را نشان می دهد. بیشینه دمای کف محفظه در نانوسیالات کمتر از آب است. این دلیلی است که استفاده از نانوسیالات را توجیه می کند.

۳-۵- بررسی نانوسیالات Al_2O_3 -CMC

شکل کلی خطوط جریان مشابه حالت های قبلی است، مکانیزم انتقال حرارت در اعداد رایلی کوچک بیشتر از نوع رسانش و در اعداد رایلی بزرگتر بیشتر به سمت جابجایی آزاد میل می کند و با افزایش عدد رایلی خنک سازی بهتر می شود. با

شود. شرایط مساله باعث ایجاد دو گردابه داخل شده و گردابه سمت راست در جهت ساعتگرد و گردابه سمت چپ پادساعتگرد می باشد. مقدار تابع جریان در گردابه سمت چپ بزرگتر است. علاوه بر این دو، گردابه کوچکی نیز در قسمت بالای محفظه و پشت پله شروع به رشد می کند. این گردابه در اعداد رایلی بزرگتر بیشتر نمود پیدا می کند، زیرا اثر جابجایی جریان در اعداد رایلی بزرگتر بیشتر می شود.

در عدد رایلی 10^4 مکانیزم غالب در انتقال حرارت، رسانش است. حرکت جریان ضعیف بوده و خطوط همدمای تقریباً منظم و موازی هم هستند. در عدد رایلی 10^6 گردابه ها قوی تر شده و انتقال حرارت به روش جابه جایی به خوبی بروز پیدا می کند، گردابه بالایی بزرگتر شده و به گردابه سمت راستی متصل می شود، خطوط همدمای کاملاً به هم ریخته و نامنظم می شوند و دمای بیشینه کف از هر دو حالت قبل کمتر شده و انتقال حرارت به طور قابل ملاحظه ای بهتر می شود. شکل (۳) نمودار توزیع عدد ناسلت در محفظه نشان می دهد. با افزایش عدد رایلی، عدد ناسلت افزایش می یابد که به معنی افزایش انتقال حرارت از نوع جابه جایی می باشد. در عدد رایلی 10^6 بیشترین عدد ناسلت و کمترین دما را داریم یعنی بهترین انتقال حرارت را که سهم بیشتر آن را جابه جایی تشکیل می دهد.

نکته ی قابل ذکر دیگر این که کمترین مقدار عدد ناسلت در میانه ی کف محفظه اتفاق می افتد درست همان جایی که بیشترین مقدار دما رخ می دهد و این قضیه کاملاً منطقی است. در واقع در صورت عدم وجود پله و متقارن بودن هندسه ی محفظه نقطه ی کمینه ی عدد ناسلت و بیشینه ی دما دقیقاً در وسط کف محفظه اتفاق می افتد (همانگونه که در مرجع [۱] مشاهده می شود) و وجود پله باعث انحراف این نقطه به سمت راست محفظه می شود.

حرارت خصوصا در اعداد رایلی پایین تر به طور محسوسی افزایش می یابد، زیرا در این حالت نقش رسانش پرننگ تر است. در همه حالت های بررسی شده، مشاهده می شود که بیشینه دمای کف محفظه در قسمت میانی آن رخ می دهد، یعنی درست در همان جایی که مقدار کمینه ی عدد ناسلت اتفاق می افتد. اگر هندسه ی محفظه متقارن می بود، این نقطه دقیقا وسط محفظه بود ولی وجود پله باعث اندکی انحراف در محل آن می شود.

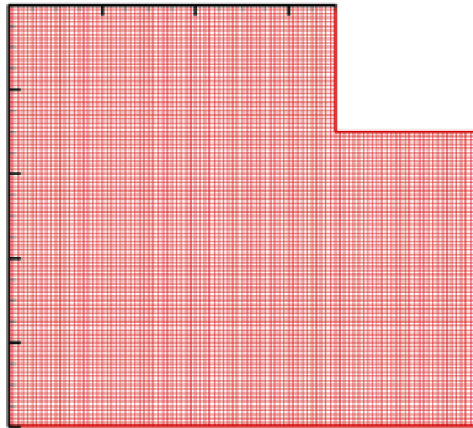
۶- مراجع

- [1] S.M. Aminossadati, B. Ghasemi, Natural convection cooling of a localized heat source at the bottom of a nanofluid-filled enclosure, *European Journal of Mechanics B/Fluids* 28 (2009) 630–640
- [2] David B. Braun, Meyer R. Rosen, *RHEOLOGY MODIFIERS HANDBOOK Practical Use and Application*, William Andrew Publishing, Norwich, New York, USA (2000)
- [3] E. Abu-Nada, H. F. Oztop, Effects of inclination angle on natural convection in enclosures filled with Cu–water nanofluid, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 30 (2009) 669–678
- [4] B. Ghasemi, S.M. Aminossadati, Periodic natural convection in a nanofluid-filled enclosure with oscillating heat flux, *International Journal of Thermal Sciences* 49 (2010) 1–9
- [5] E. Abu-Nada, Z. Masoud, H. F. Oztop, A. Campo, Effect of nanofluid variable properties on natural convection in enclosures, *International Journal of Thermal Sciences* (2009) 1–13
- [6] M. Shahi, A. H. Mahmoudi, F. Talebi, Numerical study of mixed convective cooling in a square cavity ventilated and partially heated from the below utilizing nanofluid, *International*

افزایش عدد رایلی جریان در تمامی موارد، خطوط همدمای مجاورت دیواره های دما ثابت متراکم تر شده، ضخامت لایه مرزی دما در مجاورت این دیواره ها کمتر شده، گرادیان دما عمود بر دیواره ها و در مجاورت آنها افزایش یافته و میزان انتقال حرارت از این دیواره ها بیشتر می شود. شکل (۸) دمای بیشینه کف بر حسب عدد رایلی را برای CMC نانوسیال آن را نشان می دهد. شکل (۹) مقایسه عدد ناسلت متوسط را در کف محفظه برای نانو سیالات مختلف نشان می دهد. جدول (۲) نشان دهنده بهبود انتقال حرارت سیالات آب و CMC در مقایسه با نانو سیالات مربوطه در حالت شار ثابت در عدد رایلی 10^6 را نشان می دهد.

۶- نتیجه گیری

در اغلب تحقیقات پیشین، محفظه ی انتقال حرارت متقارن در نظر گرفته شده بود، اما مشاهده شد که وجود پله باعث نامتقارن شدن هندسه ی مساله و در نتیجه نامتقارن شدن خطوط جریان و خطوط هم دما می گردد. در همه حالت های بررسی شده، با افزایش عدد رایلی، قدرت جریان بیشتر شده، خطوط جریان و خطوط هم دما نامنظم تر می شوند و شیوه غالب در انتقال حرارت از رسانش به جابه جایی طبیعی تغییر می کند. گرادیان عمودی دما در نزدیکی دیواره های دما پایین افزایش یافته و در نتیجه انتقال حرارت بهبود قابل توجهی می یابد. همچنین مساله برای یک سیال نیوتونی (آب) و سیال غیرنیوتونی CMC حل شد. در مجموع می توان اینگونه نتیجه گرفت که انتقال حرارت آب بهتر از CMC است. از آنجا که انتقال حرارت از نوع جابه جایی آزاد است، یعنی اختلاف دمای کف محفظه و سیال تنها عامل ایجاد جریان سیال است، لذا علت آن را می توان در بالا بودن لزجت سیالات غیرنیوتونی نسبت به آب جستجو کرد. با توجه به نتایج حل، مشاهده می شود که با افزایش نسبت حجمی نانوذرات در سیال پایه، میزان انتقال

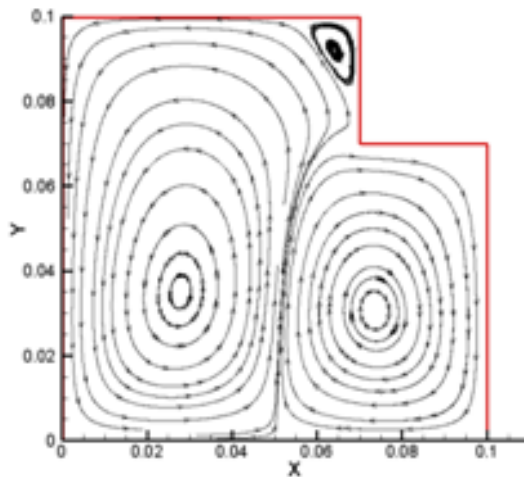


شکل (۱). نمایی از شبکه بندی به کار رفته در مساله مورد مطالعه

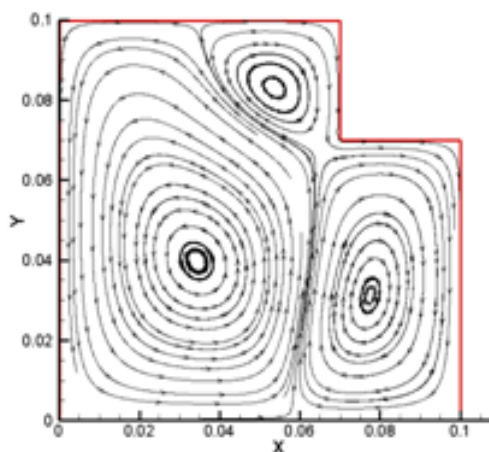
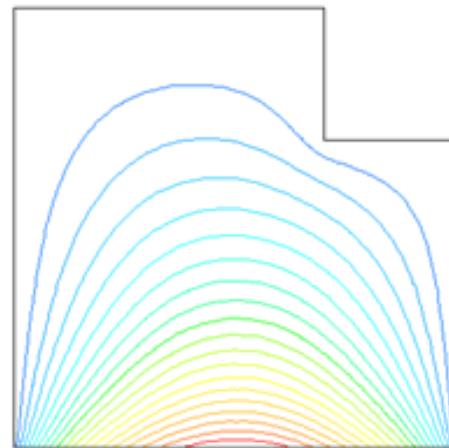
Communications in Heat and Mass Transfer (2009)

[7] Eiyad Abu-Nada, Effects of variable viscosity and thermal conductivity of Al_2O_3 -water nanofluid on heat transfer enhancement in natural convection, International Journal of Heat and Fluid Flow 30 (2009) 679-690

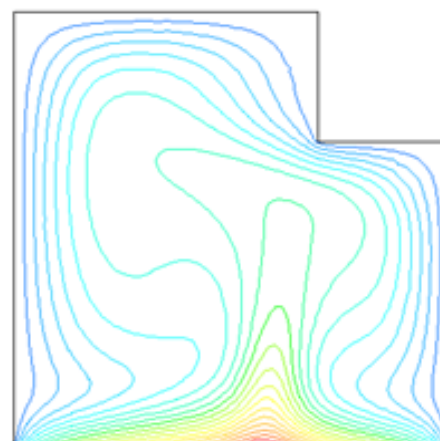
[8] Perona P. "An experimental investigation of laminar-turbulent transition in complex fluids", Journal of Food Engineering, Vol. 60, pp. 137-145, 2003.



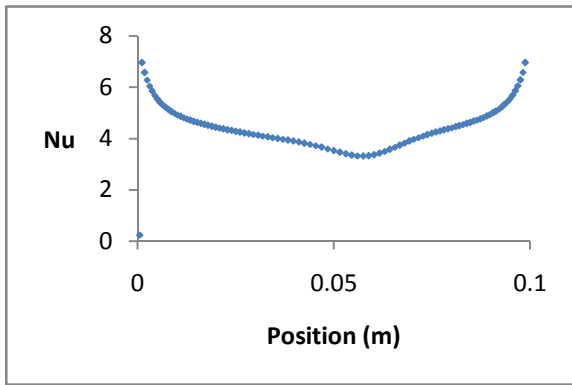
عدد رایلی 10^4



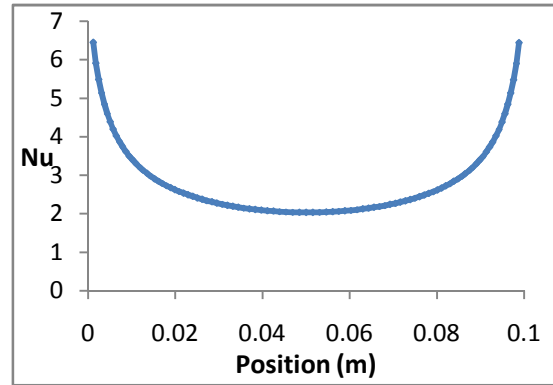
عدد رایلی 10^6



شکل (۲): خطوط جریان و خطوط همدمما برای سیال آب در اعداد رایلی 10^4 و 10^6

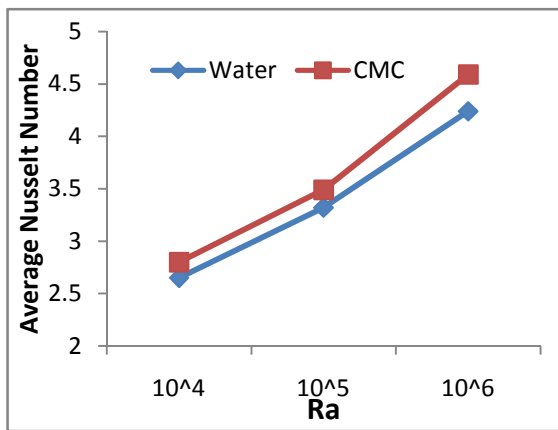


عدد رایلی 10^6



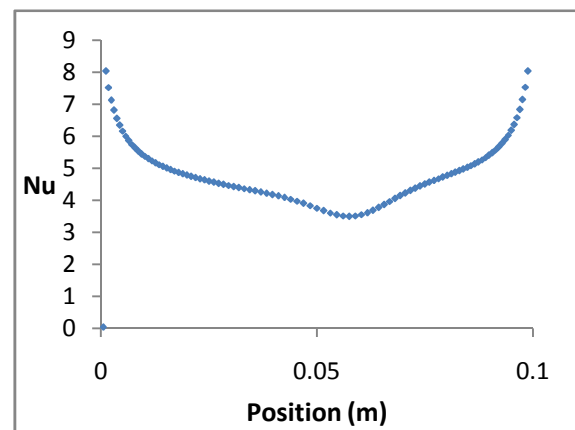
عدد رایلی 10^4

شکل (۳): توزیع عدد ناسلت موضعی در کف محفظه پر شده با سیال آب در اعداد رایلی 10^4 و 10^6



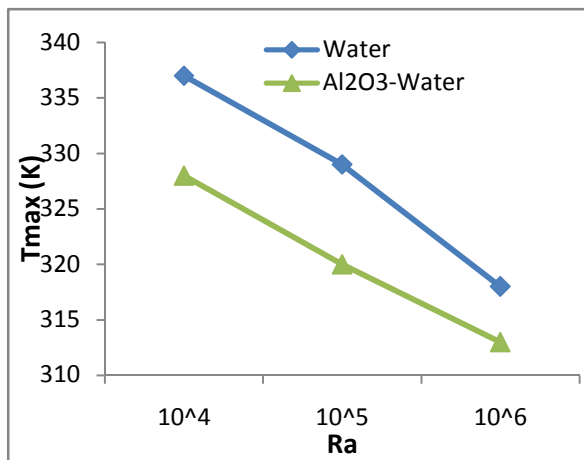
شکل (۶): تغییرات اعداد ناسلت متوسط کف محفظه بر حسب عدد

رایلی در آب و CMC



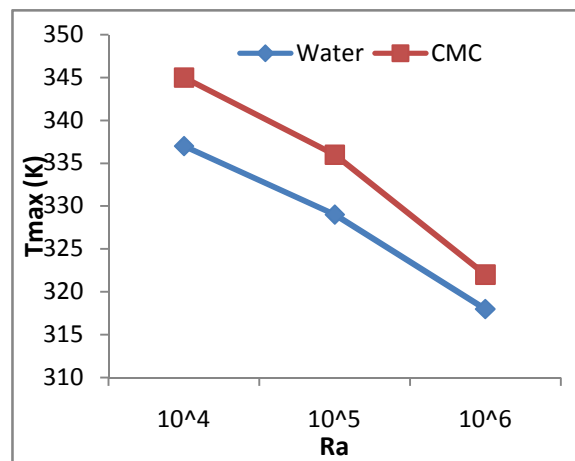
شکل (۴): توزیع عدد ناسلت موضعی در کف محفظه با سیال

CMC در اعداد رایلی 10^6

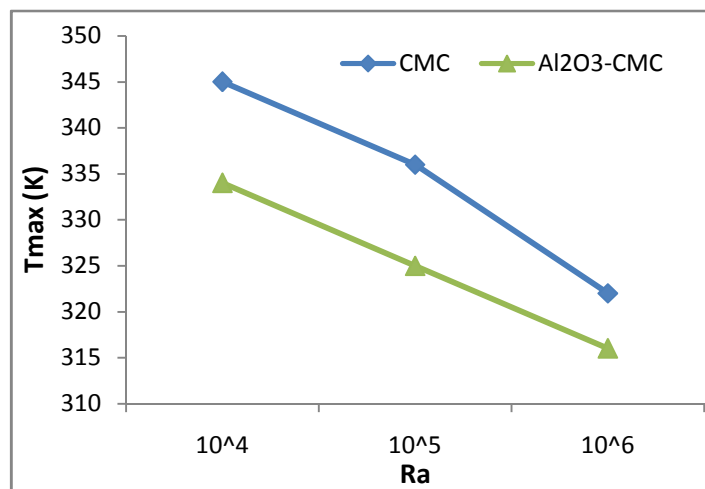


شکل (۷): مقایسه دمای بیشینه کف بر حسب عدد رایلی برای آب و

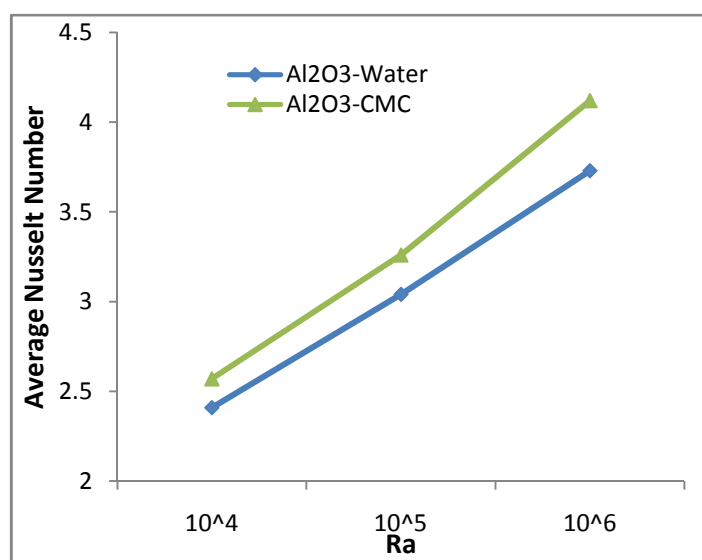
نانوسیال آب و Al_2O_3 [۱]



شکل (۵): مقایسه دما بر حسب عدد رایلی برای آب و CMC



شکل (۸): مقایسه دمای پیشینه کف بر حسب عدد رایلی برای CMC و نانوسیال CMC



شکل (۹): مقایسه عدد ناسلت متوسط در کف محافظه بر حسب عدد رایلی برای نانوسیال CMC و نانوسیال آب و Al_2O_3

جدول (۱). خواص فیزیکی ذرات

ماده	جرم مخصوص (kg/m ³)	ضریب لزجت (kg/m.s)	گرمای ویژه (J/kg.K)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)
آب	۹۹۸	۰/۰۰۱۰۰۳	۴۱۸۲	۰/۶
اکسید آلومینیوم	۳۹۷۰	----	۷۶۵	۴۰

جدول (۲). مقایسه‌ی بیشینه دمای بی بعد کار حاضر با مرجع [۱] برای تایید صحت حل

خطا (%)	کار حاضر	امین الساداتی [۱]	عدد رایلی
۱/۴	۰/۲۶۸	۰/۲۷۲	۱۰ ^۴
۵/۹	۰/۲۰۱	۰/۱۸۹	۱۰ ^۵
۳/۳	۰/۱۲۳	۰/۱۱۹	۱۰ ^۶

جدول (۲) بهبود انتقال حرارت در سیالات مختلف

سیال	بهبود انتقال حرارت نسبت به آب (K)	دمای بیشینه ی کف محفظه (K)
آب	-	۳۱۸
نانوسیال آب- اکسید آلومینیوم	۵	۳۱۳
CMC	-۴	۳۲۲
نانوسیال CMC و اکسید آلومینیوم	۲	۳۱۶