

بررسی عددی نیروهای موثر بر سرعت نسبی و انتقال -

حرارت جابجایی آزاد آرام نانوسیال در جعبه‌ابزار اپنفوم

در این مقاله رفتار حرارتی نانوسیال آلومینا - آب ۰.۳٪، ۱٪ و ۲٪ تحت تأثیر نیروهای مختلف بر روی سرعت نسبی در محفظه مربعی شکل دو بعدی توسط حلگر توسعه یافته در کارابزار متن‌باز اپنفوم بررسی شده است. از مدل دوفازی مخلوط برای مدل‌سازی با سرعت و دقت بالا استفاده شده است. نیروهای موثر که از جمله اینرسی، انتشار براونی، ترموفورسیس، دیفیوزیو فورسیس، اثر مگنوس، زهکشی سیالات و گرانش می‌باشند مورد مطالعه قرار گرفته و مهم‌ترین آن‌ها به صورت پارامتر $[p]$ وارد معادلات پیوستگی، ممنوم، انتقال حرارت و معادله پیوستگی فاز دوم گردید. این شبیه‌سازی با استفاده از الگوریتم پیمپل (سیمپل+پیزو) که یک الگوریتم ناپایا با توانایی ایجاد گام‌های زمانی بلند است و هم‌چنین تقریب بوزینسک بر روی جریان جابجایی آزاد و آرام انجام شده است. نتایج مربوط به روش‌های مختلف در نمودارهای عدد ناسلت-عدد رایلی ارائه شد. نهایتاً نتایج حاصل از تحلیل با این حلگر با نتایج موجود تجربی و عددی مورد مقایسه گرفت. بررسی این نتایج بیانگر دقت بالای حلگر ارائه شده در این مقاله است.

امیر نوری^۱

دانشجوی کارشناسی ارشد

میراعلم مهدی^۲

استادیار

واژه‌های راهنما: نانوسیال، سرعت نسبی، جابجایی آزاد، اپنفوم، انتقال حرارت

۱- مقدمه

انتقال حرارت در جریان جابجایی آزاد تحت تأثیر نیروی بویانسی در بسیاری از کاربردهای مهندسی از جمله سیستم‌های سرمایشی، گرمایشی، تهویه مطبوع و ... از اهمیت بالایی برخوردار است. با پیشرفت فناوری در این صنایع، عملیات سریع و حجیم با سرعت‌های بالا اتفاق می‌افتد. بنابراین استفاده از موتورهای با توان و حرارت بالا اهمیت بسیاری پیدا می‌کند. از این جهت مطالعات بسیاری برای افزایش شدت انتقال حرارت و کوچک سازی دستگاه‌ها صورت گرفته است. از جمله این موارد که موجبات افزایش انتقال حرارت در سیستم‌های مختلف را منتهی می‌شود، افزودن ذرات در ابعاد بسیار کوچک به سیالات می‌باشد. روش‌های مورد استفاده‌ی قرن پیشین، پراکندن ذرات در ابعاد میلیمتر یا میکرومتر در سیالات بوده است [۱]. سیستم‌های حاوی ذرات با این ابعاد مشکلات حادی را در تجهیزات انتقال حرارت و دستگاه‌ها ایجاد می‌کند.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

^۲ نویسنده مسؤل، استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران M.mahdi@sru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵/۰۶، تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۶

در این سیستم‌ها سرعت ته‌نشینی بسیار بالا است و مشکل گرفتگی و سائیدگی مجاری حرکت سیال و افت فشار وجود دارد. از این رو نانوسیالات حاوی نانوذرات نظیر فلزات، نیمه رساناها، نانولوله‌های کربنی، مواد کامپوزیتی مانند نانوذرات آلیاژی و یا نانوذرات با هسته پلیمری و پوسته کامپوزیتی، در سیالات پایه نظیر آب، اتیلن گلیکول و روغن مورد توجه قرار گرفته‌اند. از آنجایی که سیالات پایه دارای انتقال حرارت رسانشی پایینی می‌باشند، از مواد افزودنی برای بهبود این خاصیت استفاده می‌گردد که خواص انتقال حرارت آن‌ها نسبت به سیال پایه بسیار بالاتر است (پنگ و همکاران [۲]، کبلینسکی و همکاران [۳]، مچرافی و لبون [۴]). زمانی که این ذرات را در اندازه‌های کوچک به سیال اضافه کنیم خواص گرمایی مخلوط نیز بهبود می‌یابد [۵]. پس از چاپ تئوری ماکسول [۶،۷] مطالعات تئوریک و تجربی زیادی در این زمینه منتشر شد. ماکسول نشان داد که افزودن درصد حجمی ذرات به یک سیال پایه برابر با افزایش انتقال حرارت هدایتی مخلوط می‌باشد. پس از آن تحقیقات بسیاری در این زمینه صورت گرفت و ۳ عامل به عنوان مهم‌ترین عوامل در افزایش هدایت حرارتی نانوسیال معرفی شدند که از این قرار می‌باشند: حرکت براونی نانوذرات، لایه‌ی سیال در سطح مشترک سیال و ذره و تاثیرات خوشه‌ای شدن نانوذرات (کفایتی و سیدیک [۸]، کفایتی [۹]، کسایان [۱۰]، بونجیورنو و همکاران [۱۱]، سولنگی و همکاران [۱۲]). برای آزمایش اعتبار و صحت این فرض هفت مکانیزم لغزش در نظر گرفته شد که می‌تواند سرعت نسبی که همان محرک حرکت نانوذرات در سیال پایه است را تولید کنند. این نیروها اینرسی، انتشار براونی، ترموفورسیس، دیفیوزوفورسیس، اثر مگنوس، زهکشی سیالات و گرانش هستند. با بررسی تاریخچه‌ی نانوسیال‌ها به مقایسه‌ی این نیروها پرداخته شد و اهمیت هر کدام به نسبت دیگر نیروها سنجیده شده است. سرعت مطلق نانوذرات را می‌توان به عنوان اختلاف سرعت سیال پایه و یک سرعت لغزش نسبی دانست. به منظور ایجاد یک مدل دو مؤلفه‌ای واقع بینانه برای پدیده‌های انتقالی در نانوسیالات، درک مکانیزم‌هایی که نانوذرات با توجه به سیال پایه می‌توانند سرعت لغزش ایجاد کنند مهم است. برای اهداف مطالعاتی ما فرض خواهیم کرد که نانوذرات در داخل سیال می‌توانند به عنوان یک فاز پیوسته در نظر گرفته شوند. برای ارزیابی صحت این فرض، باید عدد نادسن (Kn)، که به عنوان نسبت میانگین مسافت آزاد مولکول آب یا همان مسیر آزاد به قطر نانوذرات تعریف شده را محاسبه کرد. از جهتی برای طیف وسیعی از نانوذرات مورد بحث (۱۰۰-۱ نانومتر)، عدد نادسن نسبتاً کوچک (۰,۳) بوده، و فرض پیوستگی معقول است.

رحیمی و همکاران [۱۳] از جمله محققانی هستند که انتقال حرارت جابجایی آزاد را در یک محفظه مربعی شامل نانوسیال را بررسی کرده و پارامترهای تاثیرگذار در نرخ انتقال حرارت را تحلیل نمودند. نتایج آن‌ها افزایش نرخ انتقال حرارت در صورت افزایش عدد رایلی را نشان داد. هو و همکاران [۱۴] در سه محفظه‌ی مستطیل شکل مختلف به صورت تجربی رفتار نانوسیال آلومینا - آب را در کسرهای حجمی مختلف آزمایش کردند. افزایش در ضریب انتقال حرارت فقط در کسر حجمی کمتر از ۰,۱٪ قابل مشاهده است. هم چنین گفته شد که این افزایش با ویژگی‌های ترموفیزیکی توجیه پذیر نیست و پدیده‌های دیگر موجود در انتقال ذرات باید مورد مطالعه قرار بگیرند. مرادی و همکاران [۱۵] در یک محفظه سیلندری عمودی شکل که از پایین حرارت داده می‌شود و از بالا خنک می‌شود تاثیرات نانوذرات آلومینا و تیتانیوم اکسید را در سیال آب بررسی کردند و بهبود در انتقال حرارت یا بسیار کم مشاهده گردید و یا اینکه زوال حرارت وجود داشت. افزایش در انتقال حرارت تنها در رایلی‌های پایین مشاهده گردید.

لی و پترسون [۱۶] کاهش در انتقال حرارت جابجایی آزاد را در $0.5\% \sim 0.6\%$ DI water / Al_2O_3 در داخل یک محفظه گزارش کردند. آن‌ها حرکت براونی و گرادیان دمایی را عامل تاخیر جابجایی آزاد معرفی کردند. افزون بر این لزجت بالاتر نانوسیال نیز چنین تاثیری را بر عهده داشت. مایگا و همکاران [۱۷] نانوسیال را در جریان آرام درون لوله به عنوان یک مایع تک فاز بسیار همگن در نظر گرفتند و تنها از معادلات ترموفیزیکی مخلوط موجود در معادلات کلاسیک قبلی استفاده کردند. نانوسیال آلومینا در دو سیال پایه مختلف آب و اتیلن گلیکول مخلوط شد. آن‌ها فرض کردند که هیچ تغییر غلظتی در نانوسیال وجود ندارد و نانوذرات به طور یکنواخت توزیع می‌شوند در حالی که این فرض برخلاف برخی مشاهدات تجربی و تحلیل‌های نظری است. ترنیک و رودولف [۱۸] نشان دادند با افزایش میزان انتقال حرارت نانوسیالات Au ، Al_2O_3 ، Cu و TiO_2 در داخل سیال پایه آب در حالی که مقدار کسر حجمی داخل حفره های دو بعدی تا 10% می‌باشد میانگین مقدار ناسلت تابعی صعودی از مقدار کسر حجمی است. مهرز و همکاران [۱۹] جابجایی ترکیبی نانوسیالات (مس، Al_2O_3 ، CuO و TiO_2) را در سیال پایه آب با ϕ حداکثر 10% را در یک حفره‌ی رو باز که از زیر با دمای یکنواخت گرم می‌شود ($Re = 500 \sim 1000$) بررسی کرد. مشخص شد انتقال گرما با افزایش عدد رینولدز و کسر حجمی نانوذرات افزایش می‌یابد. بهزادمهر و همکاران [۲۰] اولین کسانی بوده‌اند که با استفاده از روش چندفازی برای شبیه‌سازی CFD تحقیقی منتشر کرده‌اند. در بررسی آن‌ها نانوسیال 1% مس - آب در یک لوله دایره‌ای که مخلوطی از فاز پایه و فاز نانوذرات است و از روش مخلوط استفاده شده است. در مطالعه آن‌ها، معادلات حاکم بر مخلوط حل شد که خصوصیات آن بر اساس خصوصیات هر دو سیال پایه و نانوذرات محاسبه گردید. گروسی و همکاران [۲۱] یک مطالعه CFD برای انتقال حرارت جابجایی طبیعی و ترکیبی نانوسیال Al_2O_3 - آب (ϕ) تا 5% در یک حفره مربعی که از کناره‌ها گرم می‌شود انجام دادند. در شبیه‌سازی آن‌ها، معادلات استاندارد N-S برای مخلوط نانوسیال حل شد، اما در معادله انرژی برای شار انرژی احتمالی به دلیل حرکت براونی نانوذرات و اثرات ترموفورسیس، یک ترم اضافی اضافه شد. نتایج آن‌ها نشان داد که در هر عدد رایلی و ریچاردسون، مقدار کسر حجمی بهینه‌ای از نانوذرات وجود دارد. همچنین مشاهده شد که با مقدار کم رایلی و ریچاردسون زیاد، توزیع ذرات "نسبتاً غیر یکنواخت" بود. اکبری و همکاران [۲۲] یک تحقیق مقایسه‌ای بین روش تک فاز و روش‌های مختلف چند فازی به وسیله شبیه سازی های CFD انجام دادند. آن‌ها هر سه رویکرد زیر مجموعه‌ی دیدگاه اویلری، یعنی VOF، مخلوط و مدل Eulerian-Eulerian را برای جریان جابجایی اجباری آرام نانوسیال 0.6% ، 1% و 1.6% آلومینا / آب در یک لوله افقی تحت شار حرارتی ثابت به کار بردند. علاوه بر این، آن‌ها از چگالی و لزجت وابسته به دما برای سیال پایه استفاده کردند تا شبیه‌سازی عملی‌تر باشد. آن‌ها گزارش دادند که هر سه مدل چند فازی نتایج بهتری از روش تک فاز پیش بینی می‌کنند. الصابری و همکاران [۲۳] به صورت عددی نانوسیال غیر یکنواخت در داخل محفظه‌های مربعی را با وجود بلوک‌هایی در مرکز آن مورد بررسی قرار دادند و کاهش و افزایش انتقال حرارت را در اندازه‌های مختلفی از بلوک مشاهده نمودند.

حاضری محمل و همکاران [۲۴] طی یک کار عددی و به کمک نرم‌افزار اپن‌فوم جریان ترکیبی در داخل یک حفره شامل نانوسیال آب - مس را به وسیله روش دوفازی مخلوط بررسی کرده و از مدل لزجت غیرنیوتنی قانون توانی برای پیش‌بینی لزجت نانوسیال استفاده نمودند. منگ و همکاران [۲۵] با بهره‌گیری از حلگرهای اپن‌فوم، جابجایی طبیعی و ته‌نشینی را در داخل حفره حاوی نانوسیال، با استفاده از مدل دوفازی مخلوط مورد

ارزیابی قرار دادند و نتایج را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نمودند. باغساز و همکاران [۲۶] نیز به کمک حلگرهای اپن فوم مدت زمان ته نشینی نانوذرات در سیال پایه را با وجود تخلخل و در عددهای رایلی مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش عدد رایلی مدت زمان ته نشینی افزایش یافته و هم چنین عدد ناسلت افزایش خواهد داشت. چنگ [۲۷] جابجایی طبیعی یک نانوسیال غیرنیوتنی را در یک مخروط ناقص نفوذناپذیر که در داخل یک محیط متخلخل قرار داشت به صورت عددی مورد بررسی قرار داد. او در این پژوهش اثرات حرکت براونی، نیروی ترموفورسیس و عدد لویس را بر روی عدد ناسلت و شاخص مدل قانون توانی مورد تحلیل قرار داد و نشان داد که عدد ناسلت با افزایش شاخص مدل قانون توانی افزایش می یابد. حداد و همکاران [۲۸] نانوسیال آلومینا - آب را در حفره‌ای با دیواره‌های گرم و سرد به ترتیب در پایین و بالا مورد ارزیابی قرار دادند. در این آزمایش شرایط تمرکز ذرات و انتشار ترموفورسیس در معادلات انرژی و جرم به کار گرفته شده و سرعت بدون لغزش در معادله حرکت در نظر گرفته شد. بونجیورنو [۲۹] از تجزیه و تحلیل مقیاس استفاده کرد تا نشان دهد سرعت لغزشی بین نانوذرات و سیال ناچیز است و فقط انتشار جرم ذرات در انتقال حرارتی دارای اهمیت است. شریعت و همکاران [۳۰] نانوسیال آلومینا را در مجرای بیضوی با جریان جابجایی ترکیبی با مدل مخلوط پیش فرض در ANSYS Fluent مدل سازی کردند. حرکات براونی از طریق هدایت حرارتی نانوسیال در نظر گرفته شد و یک شیب غلظت ضعیف در سطح مقطع مجرا مشاهده شد. پاکروان و یعقوبی [۳۱] نانوسیال آلومینا را داخل حفره با جریان آرام با استفاده از مدل مخلوط مورد بررسی قرار دادند. ترم‌های تراکم و انتشار ترموفورسیس به عنوان مکانیزم لغزشی فرض شدند.

در این تحقیق با ایجاد اصلاحاتی در مدل دوفازی Mixture (مخلوط) و تعریف یک ترم اضافی به نام p با لحاظ نیروهای براونی و ترموفورسیس به عنوان مهم ترین عوامل ایجاد کننده سرعت نسبی بین سیال پایه (آب) و نانوذرات (آلومینا) و افزودن آن به معادلات بقای این مدل در جعبه ابزار متن باز اپن فوم، انتقال حرارت در جریان های مختلف جابجایی آزاد که با تقریب بوزینسک شبیه سازی شده است بررسی شد. نتایج بدست آمده از این حلگر با نتایج حلگرهای روش تک فازی و روش دوفازی Mixture موجود در نرم افزار فلوئنت، در شرایطی کاملاً مشابه مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج در رایلی های گسترده در محدوده جریان آرام انجام گرفت و از عدد بی بعد ناسلت برای مقایسه عملکرد حرارتی نتایج به دست آمده استفاده شد.

۲- روابط حاکم بر مسئله

در این مطالعه از کارابزار OpenFOAM® v ۶,۰ برای تهیه یک حلگر مناسب استفاده شده است تا به کمک آن بتوان تأثیر نیروهای مختلف بر انتقال حرارت جابجایی طبیعی را در هندسه مورد نظر بررسی کرد. از این رو دو حلگر موجود در این جعبه ابزار به نام های buoyantBoussinesqPimpleFoam و driftFluxFoam با یکدیگر تلفیق داده شدند. حلگر اول به دلیل توانایی در حل معادله انتقال حرارت و استفاده از تقریب بوزینسک برای جریان تک فاز و حلگر دوم به عنوان تنها حلگری که در این کار ابزار از روش دوفازی مخلوط بهره می برد اما توان شبیه سازی انتقال حرارت را ندارد برای این مهم انتخاب شده اند. معادلات موجود در این حلگر شامل یک دسته از معادلات بقا برای نانوسیال به علاوه یک معادله کسر حجمی برای فاز دوم می باشد. با فرض جریان چند فاز به عنوان یک مخلوط چند فازی پیوسته، تنها یک مجموعه معادلات بقا برای شبیه سازی نانوسیال

مورد نیاز است. از معادله کسر حجمی نیز برای مشخص نمودن مقدار هر فاز در سلول‌های محاسباتی استفاده می‌شود. با توجه به مطالعاتی که صورت گرفت مشخص شد که از میان نیروهای اینرسی، انتشار براونی، ترموفورسیس، دیفیوزوفورسیس، اثر مگنوس، زهکشی سیالات و گرانش، دو نیروی انتشار براونی و ترموفورسیس تاثیر بسیار بیشتری نسبت به سایر نیروها بر روی سرعت نسبی نانوسیال دارند. معادلات لازم برای بررسی و شبیه‌سازی مسئله مورد نظر بدین صورت می‌باشند.

معادله پیوستگی برای فاز پراکنده:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \nabla \cdot (\phi U_m) = -\frac{1}{\rho_p} \nabla \cdot J_p \quad (1)$$

معادله ممنتوم:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho_m U_m)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m U_m U_m) \\ & = -\nabla P_m + \nabla \cdot (\mu_m ((\nabla U_m) + (\nabla U_m)^T)) - \nabla \cdot \left(\frac{1}{\phi} \frac{\rho_m}{\rho_f \rho_p} J_p J_p \right) \\ & + \rho_m g \end{aligned} \quad (2)$$

معادله انرژی:

$$\rho_m C_{p_m} \left(\frac{\partial T}{\partial t} + U_m \cdot \nabla T_m \right) = -\nabla \cdot (q_m) + (C_{p_f} + C_{p_p}) (J_p \cdot \nabla T_m) \quad (3)$$

$$q_m = -k_m \nabla T \quad (4)$$

در حالیکه پارامتر J_p به این صورت تعریف می‌شود:

$$J_p = \phi \rho_p U_{p_m} \quad (5)$$

اما برای تزریق حرکات ناشی از نیروی براونی و ترموفورسیس در معادلات نیاز می‌باشد که رابطه تازه تعریف شده ای از پارامتر J_p را وارد معادلات کنیم. این رابطه به این صورت تعریف شده است:

$$J_p = J_{p_B} + J_{p_T} \quad (6)$$

که J_{p_B} عبارتی است که شامل تاثیرات حرکت براونی و J_{p_T} عبارتی است که شامل تاثیرات حرکت ترموفورسیس می‌باشد. هر کدام از این ترم ها مطابق روابط زیر تعریف شده‌اند.

$$J_{p_B} = -\rho_p D_B \nabla \phi \quad (7)$$

$$J_{p_T} = -\phi S_T \frac{\rho_p}{\rho_f} \frac{\mu_f}{T} \nabla T \quad (8)$$

که در این روابط داریم:

$$D_B = \frac{k_{eff} T}{3\pi \mu_f d_p} \quad (9)$$

$$S_T = C_S \frac{ak_f + bk_p}{ck_f + k_p} \quad (10)$$

چگالی نانوسیال از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\rho_m = \phi \rho_p + (1 - \phi) \rho_f \quad (11)$$

ضریب انبساط حرارتی نانوسیال از رابطه زیر بدست می آید:

$$\beta_m = \frac{(1-\varphi)\rho_f\beta_f + \varphi\rho_p\beta_p}{\rho_m} \quad (12)$$

ضریب هدایت نانوسیال نیز توسط رابطه مایگا محاسبه می گردد:

$$K_{\text{eff, Maiga}} = K_f (4.97 \varphi^2 + 2.7 \varphi + 1) \quad (13)$$

مقدار لزجت دینامیکی نانوسیال که حرکت براونی نانوسیال را نیز در بر می گیرد به صورت زیر بدست می آید:

$$\mu_m = \mu_f + \frac{\rho_p V_B d_p^2}{72 C \delta} \quad (14)$$

$$V_B = \frac{1}{d_p} \sqrt{\frac{18 k_p T}{\pi \rho_p d_p}} \quad (15)$$

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6\varphi} d_p} \quad (16)$$

$$C = \mu_f^{-1} [(c_1 d_p + c_2)\varphi + (c_3 d_p + c_4)] \quad (17)$$

$$\begin{aligned} c_1 &= -0.000\ 001\ 133 & c_2 &= -0.000\ 002\ 771 \\ c_3 &= 0.000\ 000\ 9 & c_4 &= -0.000\ 000\ 393 \end{aligned}$$

معادلات پیوستگی، اندازه حرکت، انرژی و نسبت حجمی فاز دوم در نرم افزار انسیس فلوئنت نیز به ترتیب به صورت زیر می باشند:

$$\nabla \cdot (\rho_{\text{eff}} V_m) = 0 \quad (18)$$

$$\nabla (\rho_{\text{eff},0} V_m V_m) = -\nabla P + \nabla \cdot [\tau] - \rho_{\text{eff},0} \beta_{\text{eff}} g (T - T_0) + \nabla \cdot (\sum_{k=1}^n \phi_k \rho_k V_{\text{dr},k} V_{\text{dr},k}) \quad (19)$$

$$\nabla \cdot (\sum_{k=1}^n \phi_k V_k \rho_k E_k) = \nabla \cdot (K_{\text{eff}} \nabla T) \quad (20)$$

$$\nabla \cdot (\sum_{k=1}^n \phi_p \rho_p V_m) = \nabla \cdot (\sum_{k=1}^n \phi_p \rho_p V_{\text{dr},p}) \quad (21)$$

$V_{\text{dr},k}$ سرعت سوق برای فازهای موجود در رابطه می باشد. همانطور که از رابطه ی زیر مشخص است مفهوم این عبارت در واقع نسبت سرعت یک فاز به سرعت نانوسیال می باشد.

$$V_{\text{dr},k} = V_k - V_m \quad (22)$$

از طرفی سرعت نسبی مطابق رابطه زیر بیانگر اختلاف سرعت فاز دوم با فاز اول می باشد :

$$V_{\text{pf}} = V_p - V_f \quad (23)$$

سرعت سوق با استفاده از رابطه زیر به سرعت نسبی بین دو فاز نسبت داده می شود :

$$V_{\text{dr},k} = V_k - \frac{(\sum_{k=1}^n \phi_k \rho_k V_{\text{fk}})}{\rho_{\text{eff}}} \quad (24)$$

و در نهایت سرعت نسبی بین دو فاز، از رابطه زیر که به رابطه ی مانینن معروف است، محاسبه می شود:

$$V_{\text{pf}} = \frac{\rho_p d_p^2}{18 \mu_{\text{ff drag}}} \frac{\rho_p - \rho_{\text{eff}}}{\rho_p} a \quad (25)$$

که مقدار ضریب پسا از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$f_{\text{drag}} = \begin{cases} 1 + 0.15Re_p^{0.687} & Re_p \leq 1000 \\ 0.0183Re_p & Re_p > 1000 \end{cases} \quad (26)$$

بردار شتاب a نیز به صورت مقابل تعریف می‌شود:

$$a = g - (V_m \cdot \nabla) V_m \quad (27)$$

معادله ناسلت محلی و متوسط (ترنیک و رودولف [۱۸]) به صورت زیر می‌تواند نوشته شود:

$$Nu(y) = (k_m/k_f) \left(\frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{n=0} \frac{L}{T_c - T_c} \right) \quad (28)$$

$$Nu = \int_0^L Nu(y) dy / L \quad (29)$$

عدد رایلی و کورانت نیز به ترتیب توسط روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$Ra = g \beta \Delta T L^3 / \nu \alpha \quad (30)$$

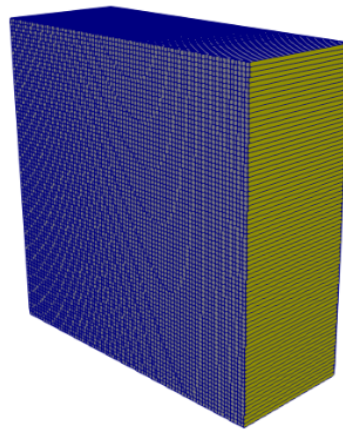
$$Co = \frac{u \Delta t}{\Delta x} \quad (31)$$

در حالی که u مقدار اندازه سرعت در یک سلول محاسباتی، Δt اندازه گام زمانی و Δx طول یک ضلع از سلول مورد نظر می‌باشد.

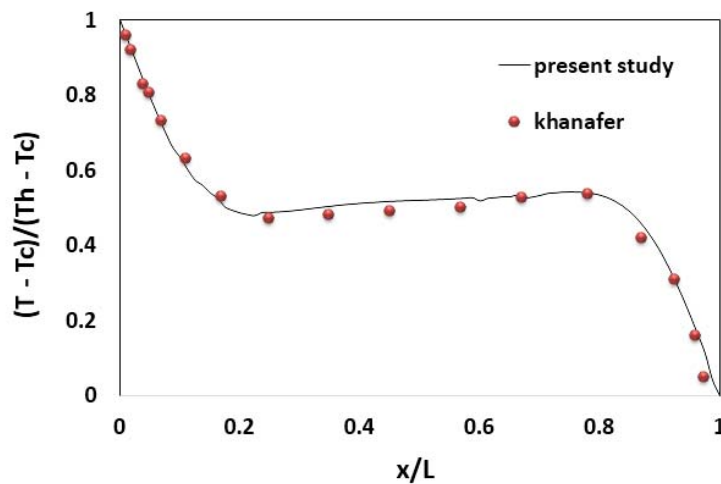
۳- بررسی نتایج

هندسه‌ی مورد بررسی در این مقاله به صورت یک مربع دویبعدی به طول x می‌باشد. بعد سوم این حفره که عمق آن را ایجاد می‌کند تنها به اندازه یک سلول بوده و اقتضای جعبه ابزار اینفوم می‌باشد در حالی که مسئله را به صورت دویبعدی در نظر خواهد گرفت (شکل ۱). مقدار کسر حجمی موجود در محفظه ۱۰٪ مس-آب می‌باشد. شرط مرزی دیواره بالا و پایین عایق حرارتی بوده و دیواره چپ و راست دمای ثابت دارند که دیواره چپ دما بالا T_h و دیواره راست دما پایین T_c است. میزان اختلاف این دو دیواره مقدار عدد رایلی را مشخص می‌کند. لازم به ذکر است که استقلال حل از تعداد شبکه بررسی شده و تعداد گره بهینه هر ضلع ۸۰ انتخاب شده و شبکه‌بندی کاملاً به صورت با سازمان انجام شده است. الگوریتم به کار برده شده برای کوپل سرعت و فشار در این حلگر الگوریتم PIMPLE بوده که در واقع ترکیبی از دو الگوریتم SIMPLE و PISO می‌باشد و نیز برای گسسته‌سازی معادلات از روش حجم محدود استفاده گردید. همچنین گام زمانی به صورت خودکار با عدد کورانت همسان‌سازی شد به طوری که مقدار بیشینه و کمینه عدد کورانت ۵ و ۱ لحاظ شده است. این بازه به عنوان یک محدوده مطمئن برای حل شبیه‌سازی محسوب شده و از این رو با داشتن مقادیر اندازه سرعت و طول سلول محاسباتی مقدار بهینه‌ای برای گام زمانی به دست می‌آید.

از ورژن ۱۸،۴ اوبونتو که یکی از توزیعات سیستم عامل لینوکس می‌باشد و همچنین از سیستم کامپیوتری دارای پردازشگر Intel(R) Core(TM) i5-4200M CPU @ 2.50GHz برای این کار استفاده شد. برای ایجاد حلگر مناسب برای انجام این شبیه‌سازی از دو حلگر buoyantBoussinesqPimpleFoam و driftFluxFoam استفاده شد و با ترکیب آن‌ها و تعریف پارامتر J_p و وارد کردن آن در تک تک معادلات در جای مناسب خود، این کار انجام شد. به ترتیب از اسکم‌های Gauss linear، Gauss linear corrected، و Gauss linear برای گسسته‌سازی ترم‌های گرادیان، لاپلاسیان و دیورژانس استفاده شده است.



شکل ۱- نمایی از حفره مربعی شکل مورد نظر در مسئله

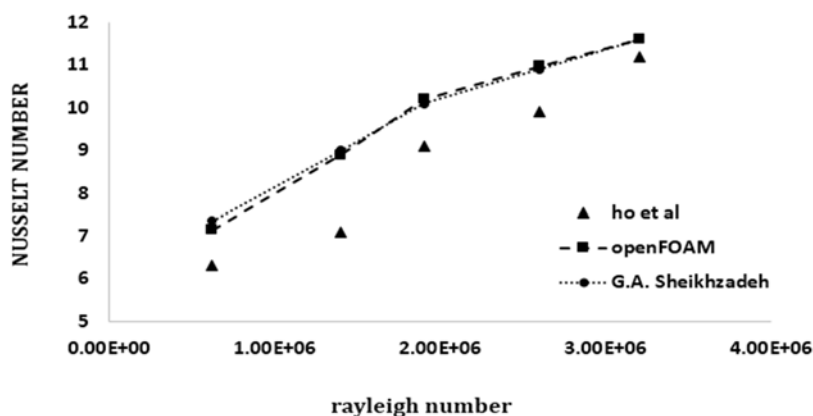


شکل ۲- اعتبارسنجی دمایی بی بعد یک محفظه مربعی نانوسیال ۱۰٪ مس - آب در رایلی 6.2×10^4 با کار عددی خانافر [۳۲]

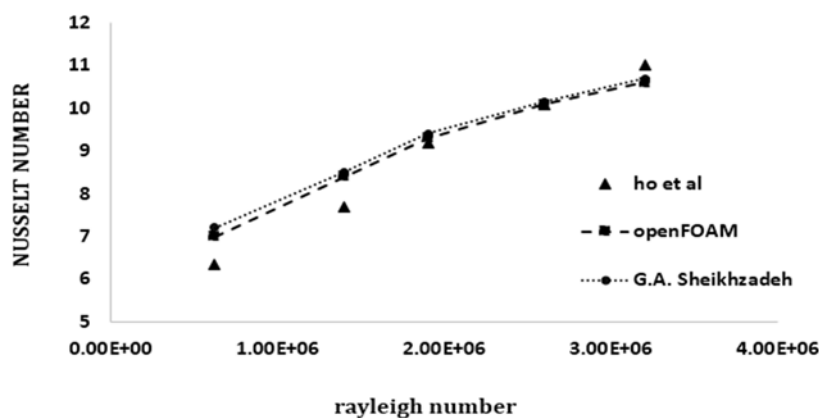
شکل (۲) تغییرات دمای بی بعد در امتداد خط طولی افقی که از میانه مربع می گذرد را نشان می دهد. دما از مقدار بیشینه دمای دیوار سمت چپ به تدریج کاهش می یابد، در قسمت میانی تقریباً ثابت است و در کنار دیواره سمت راست به مقدار کمینه نزول می کند. در این شکل نتایج مربوط به خانافر [۳۲] نیز آمده است و چنانچه مشاهده می شود مطابقت بسیار خوبی بین این نتایج وجود دارد. در ادامه برای بررسی بیشتر دقت نتایج، شبیه سازی در شرایط کار تجربی هو و همکاران [۳۳] نیز انجام شد. این آزمایش در محفظه ای مربعی شکل با اضلاعی به اندازه ۲٫۵ سانتیمتر انجام گردیده که همانند مدل قبلی اضلاع چپ و راست آن دارای دمای ثابت و دو ضلع بالا و پایینی عایق حرارتی می باشند. تمامی اضلاع مربع دارای شرط عدم لغزش بر روی مرز بوده و گرادیان فشار در این اضلاع صفر می باشد. همچنین برای دو ضلعی که در بعد سوم و در راستای Z یعنی عمق محفظه قرار دارند به دلیل عدم تاثیر بر روی نانوسیال شرط مرزی empty روی آنها قرار می گیرد.

این آزمایش برای آلومینا در کسرهای حجمی از ۰ تا ۲ درصد و اعداد رایلی در بازه $۶/۲۱ \times 10^5$ تا $۲/۵۶ \times 10^8$ انجام شده است. شکل‌های (۴ و ۳) تغییرات عدد ناسلت را بر حسب عدد رایلی به ترتیب برای کسر حجمی ۱٪ و ۲٪ نشان می‌دهد. در این شکل‌ها نتایج شبیه‌سازی انجام شده در این تحقیق با نتایج آزمایشگاهی هو و همکاران [۳۳] و شبیه‌سازی عددی شیخ‌زاده و همکاران [۳۴] آمده است. برای هر دو کسر حجمی با افزایش عدد رایلی مقدار ناسلت نیز افزایش می‌یابد. با افزایش عدد رایلی اختلاف نتایج شبیه‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی کاهش می‌یابد. همچنین برای کسر حجمی ۲٪ نتایج عددی به آزمایشگاهی نزدیک‌تر شده است. با توجه به اصلاحاتی که در اعمال نیروهای مؤثر در سرعت نسبی صورت گرفته است، نتایج بدست آمده از دقت بیشتری نسبت به شبیه‌سازی عددی [۳۴] برخوردار است.

مقایسه نتایج مربوط به شکل‌های (۴ و ۳) نشان می‌دهد که با افزایش کسر حجمی نانوذرات، مقدار عدد ناسلت در یک رایلی مشخص کاهش پیدا کرده است. با توجه به اینکه افزایش نانوذره موجب افزایش ضریب هدایت حرارتی می‌شود انتظار می‌رفت که مقدار عدد ناسلت نیز افزایش یابد.



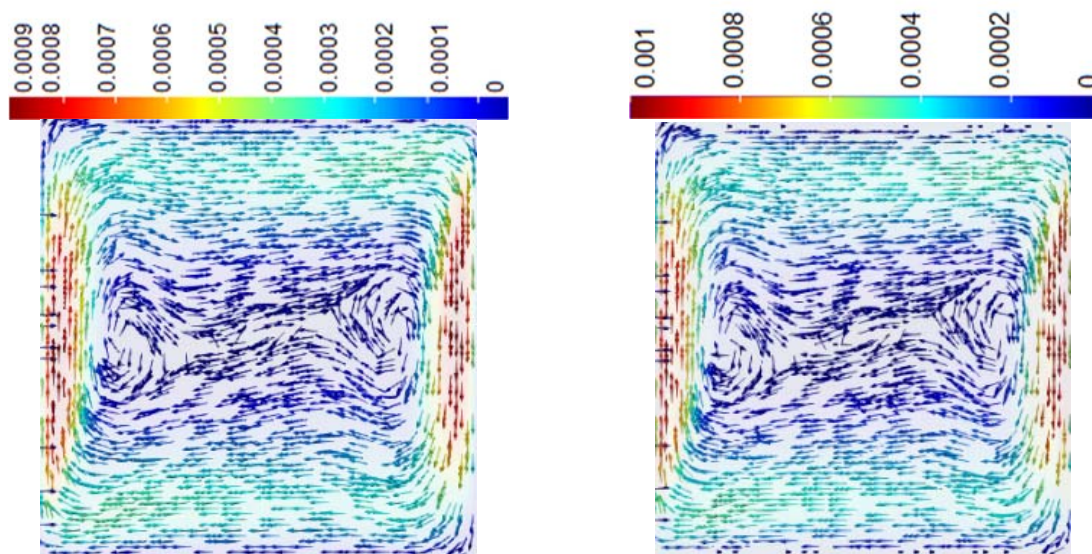
شکل ۳- مقایسه مقدار ناسلت اینفوم با کار تجربی هو و همکاران [۳۳] و کار عددی شیخ‌زاده و همکاران [۳۴] در نانوسیال آلومینا - آب ۱٪



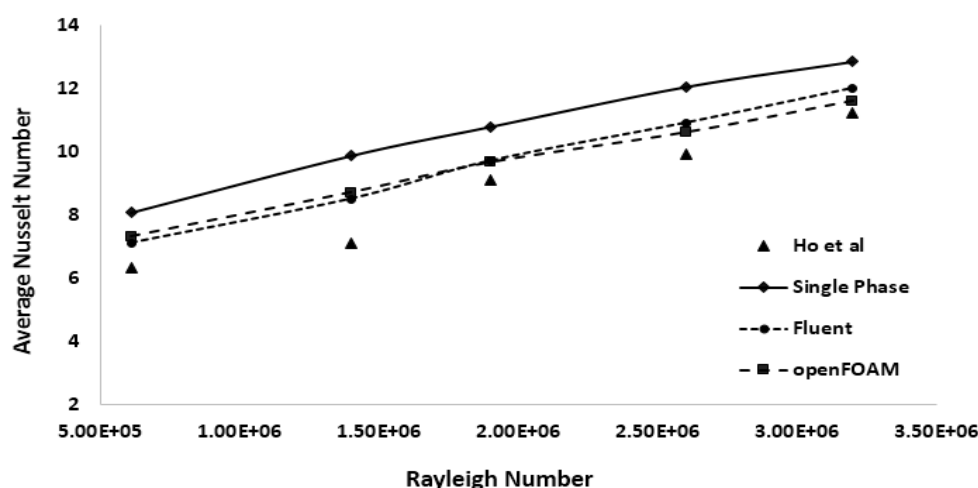
شکل ۴- مقایسه مقدار ناسلت اینفوم با کار تجربی هو و همکاران [۳۳] و کار عددی شیخ‌زاده و همکاران [۳۴] در نانوسیال آلومینا - آب ۲٪

برای بررسی این موضوع مطابق شکل (۵) توزیع سرعت برای دو کسر حجمی ۱٪ و ۲٪ در عدد رایلی $6/21 \times 10^5$ ارائه شده است. افزایش کسر حجمی موجب افزایش لزجت سیال و در نتیجه سرعت سیال کاهش یافته است. بنابراین افزایش کسر حجمی موجب افزایش ضریب هدایت و کاهش سرعت نانوسیال شده است. با توجه به اینکه با افزایش کسر حجمی مقدار عدد ناسلت کاهش یافته می‌توان نتیجه گرفت که در جابجایی آزاد سرعت سیال تاثیر مهم‌تری نسبت به ضریب هدایت داشته است. در ادامه نتایج بدست آمده از حلگر توسعه داده شده در اوپن‌فوم با نتایج مدل تک فاز و نتایج حاصله از شبیه‌سازی در نرم‌افزار Ansys Fluent 18.2 مقایسه شده است. در نرم افزار انسیس فلونت از الگوریتم SIMPLE و از روش دوفازی Mixture (مخلوط) استفاده است. تفاوت حلگرهای استفاده شده در جعبه ابزار اپن‌فوم و نرم‌افزار انسیس فلونت در رابطه سرعت نسبی آن‌ها می‌باشد. برای شبیه‌سازی به صورت تک‌فاز نیز میتوان از حلگر buoyantBoussinesqPimpleFoam برای شبیه‌سازی در حالت گذرا و از حلگر buoyantBoussinesqSimpleFoam می‌توان برای شبیه‌سازی تک‌فازی در حالت پایا استفاده کرد. همان‌طور که از نام این دو حلگر موجود است، شامل معادله انتقال حرارت بوده و از تقریب بوزینسک برای تغییرات چگالی و نمایش جریان جابجایی آزاد استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های SIMPLE و PIMPLE به ترتیب جریان‌های پایا و گذرا را شبیه‌سازی می‌کنند. در این مقایسه تمام مشخصات هندسی و شرایط مرزی برای هر سه حالت برابر در نظر گرفته شده است.

در شکل (۶) تغییرات عدد ناسلت بر حسب رایلی برای نانوسیال با کسر حجمی ۰٫۳٪ آمده است. همان‌طور که مشخص است روش تک‌فاز نسبت به روش‌های دوفازی از دقت پایین‌تری برخوردار است. مقدار بیشینه خطا نسبت به نتایج آزمایشگاهی هو حدود ۳۰٪ است. با مقایسه میان مدل‌های دو فازی مخلوط با یکدیگر این نتیجه بدست می‌آید که در رایلی‌های پایین مقدار دقت حلگر موجود در نرم افزار انسیس فلونت بیشتر است، اما این روند در رایلی‌های بالاتر تغییر کرده و حلگر توسعه یافته در اپن‌فوم به دقت قابل قبولی دست می‌یابد.



شکل ۵- توزیع سرعت نانوسیال آلومینا - آب برای رایلی $6/21 \times 10^5$. (راست) ۱٪، (چپ) ۲٪



شکل ۶- مقایسه نتایج شبیه‌سازی تک‌فازی، مدل دوفازی mixture انسیس فلونت و حلگر توسعه‌یافته در اپنفوم

دلیل این امر را می‌توان با افزایش اثرات ترموفورسیس و انتشار براونی در رایلی‌های بالاتر توجیه نمود. هر چه عدد رایلی بالاتر باشد اختلاف دما میان دو دیواره بالاتر بوده و نیروی ترموفورسیس اثرگذاری بالاتری بر روی نانوذرات خواهد داشت. هم‌میزان سرعت نانوسیال نیز با افزایش رایلی افزایش می‌یابد، این افزایش سرعت افزایش حرکات براونی را در پی خواهد داشت. بنابراین در اعداد رایلی بالا دو نیروی ترموفورسیس و انتشار براونی اهمیت بیشتری پیدا کرده و لحاظ نمودن آنها در مدل‌سازی ضروری است. به همین دلیل است که در اعداد رایلی بالاتر نتایج بدست آمده از حل گر توسعه داده شده نسبت به نتایج نرم افزار انسیس فلونت از دقت بالاتری برخوردار است.

۴- نتیجه گیری

برای بررسی تأثیر نیروهای مختلف بر روی سرعت نسبی بین نانوذره و سیال پایه در انتقال حرارت جابجایی آزاد و آرام نانوسیال آلومینا-آب، یک حل گر به کمک ترکیب و گسترش حلگرهای موجود در جعبه ابزار متن باز اپنفوم توسعه داده شد. این حلگر که شامل تاثیرگذارترین نیروهای موثر در انتقال حرارت نانوسیال است شامل پارامتر J_p که نیروهای ترموفورسیس و انتشار براونی را شامل می‌شود در معادلات خود می‌باشد. نتایج این شبیه‌سازی در یک حفره دوبعدی مربعی شکل در رایلی‌ها و کسر حجمی‌های ۰.۳ تا ۰.۲٪ با نتایج تجربی و حل‌گرهای تک‌فازی و دوفازی مخلوط موجود در نرم‌افزار فلونت و کارهای تجربی مورد مقایسه قرار گرفت و در دامنه‌های خاصی از جمله رایلی‌ها و کسر حجمی‌های بالا دقت بالاتری از خود نشان داد.

مراجع

- [1] Iwatsu, R., Hyun, J. M., and Kuwahara, K., "Mixed Convection in a Driven Cavity with a Stable Vertical Temperature Gradient", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 36, pp. 1601-1608, (1993).
- [2] Pang, C., Lee, J.W., and Hong, H., "Heat Conduction Mechanism in Nanofluids", *J. Mech. Sci Technol*, Vol. 28, pp. 2925-2936, (2014).
- [3] Keblinski, P., Phillpot, S. R., Choi, S. U. S., and Eastman, J. A., "Mechanisms of Heat Flow in Suspensions of Nano-sized Particles (Nanofluids)", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 45, pp. 855-863, (2002).
- [4] Machrafi, H., and Lebon, G., "The Role of Several Heat Transfer Mechanisms on the Enhancement of Thermal Conductivity in Nanofluids", *Continuum Mech. Thermodynamic*, Vol. 28, pp. 1461-1475, (2016).
- [5] Nalwa, H., "*Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*", American Scientific Publishers, Vol. 6, pp. 757-759, (2004).
- [6] Maxwell, J. C., "*A Treatise on Electricity and Magnetism*", Clarendon Press, Vol. 1, Oxford, UK, (1873).
- [7] Maxwell, J. C., "*A Treatise on Electricity and Magnetism*", 3rd Edition, Clarendon Press, Vol. 2, Oxford, UK, (1904).
- [8] Kefayati, G. H. R., and Sidik, N. A. C., "Simulation of Natural Convection and Entropy Generation of Non-Newtonian Nanofluid in an Inclined Cavity using Buongiorno's Mathematical Model (Part II, Entropy Generation)", *Powder Technol.*, Vol. 305, pp. 679-703, (2017).
- [9] Kefayati, G. H. R., "Simulation of Natural Convection and Entropy Generation of Non Newtonian Nanofluid in a Porous Cavity using Buongiorno's Mathematical Model", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 112, pp. 709-744, (2017).
- [10] Kasaeian, A., Daneshazarian, R., Mahian, O., Kolsi, L., Chamkha, A., Wongwises, S., and Pop, L., "Nanofluid Flow and Heat Transfer in Porous Media: A Review of the Latest Developments", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 107, pp. 778-791, (2017).
- [11] Buongiorno, J., Venerus, D. C., Prabhat, N., McKrell, T., Townsend, J., Christianson, R., Tolmachev, Y. V., Keblinski, P., Hu, L. W., and Alvarado, J. L., "A Benchmark Study on the Thermal Conductivity of Nanofluids", *Journal of Applied Physics*, Vol. 106, 094312-1-14, (2009).
- [12] Solangi, K. H., Kazi, S. N., Luhur, M. R., Badarudin, A., Amiri, A., Sadri, R., Zubir, M.N., Gharekhani, S., and Teng, K. H., "A Comprehensive Review of Thermo-physical Properties and Convective Heat Transfer to Nanofluids", *Energy*, Vol. 89, pp. 1065-1086, (2015).

- [13] Rahimi, A., Kasaeipoor, A., Malekshah, E. H., and Kolsi, L., "Experimental and Numerical Study on Heat Transfer Performance of Three-dimensional Natural Convection in an Enclosure Filled with DWCNTs-Water Nanofluid", *Powder Technol.*, Vol. 322, pp. 340-352, (2017).
- [14] Ho, C. J., Liu, W. K., Chang, Y. S., and Lin, C. C., "Natural Convection Heat Transfer of Alumina-water Nanofluid in Vertical Square Enclosures: An Experimental Study", *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 49, pp. 1345-1353, (2010).
- [15] Moradi, H., Bazooyar, B., Moheb, A., and Etemad, S., "Optimization of Natural Convection Heat Transfer of Newtonian Nanofluids in a Cylindrical Enclosure", *Chinese Journal of Chemical Engineering*, Vol. 23, 10.1016/j.cjche.2015.04.002, (2015).
- [16] Li, C. H., and Peterson, G. P., "Experimental Studies of Natural Convection Heat Transfer of Al₂O₃/DI Water Nanoparticle Suspensions (Nanofluids)", *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 02, 10.1155/2010/403816, (2010).
- [17] Maiga, S., Palm, S., Nguyen, C., Roy, G., and Galanis, N., "Heat Transfer Enhancement by using Nanofluids in Forced Convection Flows", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 26, pp. 530-546, 10.1016/j.ijheatfluidflow.2005.02.004, (2005).
- [18] Ternik, P., and Rudolf, R., "Heat Transfer Enhancement for Natural Convection Flow of Waterbased Nanofluids in a Square Enclosure", *International Journal of Simulation Modelling*, Vol. 11, pp. 29-39, (2012).
- [19] Mehrez, Z., Bouterra, M., El Cafsi, A., and Belghith, A., "Heat Transfer and Entropy Generation Analysis of Nanofluids Flow in an Open Cavity", *Computers & Fluids*, Vol. 88, pp. 363-373, (2013).
- [20] Behzadmehr, A., Saffar-Avval, M., and Galanis, N., "Prediction of Turbulent Forced Convection of a Nanofluid in a Tube with Uniform Heat Flux using a Two Phase Approach", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 28, pp. 211-219, (2007).
- [21] Garoosi, F., Garoosi, S., and Hooman, K., "Numerical Simulation of Natural Convection and Mixed Convection of the Nanofluid in a Square Cavity using Buongiorno Model", *Powder Technology*, Vol. 268, pp. 279-292, (2014).
- [22] Akbari, M., Galanis, N., and Behzadmehr, A., "A Comparative Analysis of Single and Two Phase Models for CFD Studies of Nanofluid Heat Transfer", *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 50, pp. 1343-1354, (2011).
- [23] Alsabery, A., Tayebi, T., Chamkha, A., and Hashim, I., "Effects of Non-homogeneous Nanofluid Model on Natural Convection in a Square Cavity in the Presence of Conducting Solid Block and Corner Heater", *Energies*, Vol. 11, pp. 1-27, 10.3390/en11102507, (2018).
- [24] Hazeri-Mahmel, N., Shekari, Y., and Tayebi, A., "Numerical Study of Mixed Convection Heat Transfer in a Cavity Filled with Non-Newtonian Nanofluids Utilizing Two-phase Mixture Model", *Amirkabir J. Mech. Eng.* Vol. 50, No. 6, pp. 389-392, (2018).

- [25] Meng, X., Zhang, X., and Li, Q., "Numerical Investigation of Nanofluid Natural Convection Coupling with Nanoparticles Sedimentation", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 95, pp. 411-420, (2016).
- [26] Baghsaz, S., Rezanejad, S., and Moghimi, M., "Numerical Investigation of Transient Natural Convection and Entropy Generation Analysis in a Porous Cavity Filled with Nanofluid Considering Nanoparticles Sedimentation", *Journal of Molecular Liquids*, Vol. 279, pp. 327-341, (2019).
- [27] Cheng, C.Y., "Free Convection of Non-Newtonian Nanofluids about a Vertical Truncated Cone in a Porous Medium", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 39, pp. 1348-1353, (2012).
- [28] Haddad, Z., Abu-Nada, V., Oztop, H. F., and Mataoui, A., "Natural Convection in Nanofluids: Are the Thermophoresis and Brownian Motion Effects Significant in Nanofluid Heat Transfer Enhancement", *Int. J. Therm. Sci.* Vol. 57, pp. 152-162, (2012).
- [29] Buongiorno, J., "Convective Transport in Nanofluids", *J. Heat Transfer*. Vol. 128, pp. 240, (2006).
- [30] Shariat, M., Moghari, R.M., Akbarinia, A., Rafee, R., and Sajjadi, S.M., "Impact of Nanoparticle Mean Diameter and the Buoyancy Force on Laminar Mixed Convection Nanofluid Flow in an Elliptic Duct Employing Two Phase Mixture Model", *Int. Commun. Heat Mass Transf.* Vol. 50, pp. 15-24, (2014).
- [31] Pakravan, H.A., and Yaghoubi, M., "Analysis of Nanoparticles Migration on Natural Convective Heat Transfer of Nanofluids", *Int. J. Therm. Sci.* Vol. 68, pp. 79-93, (2013).
- [32] Khanafer, 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).
- [33] Ho, C.J., Liu, W.K., Chang, Y.S., and Lin, C. C., "Natural Convection Heat Transfer of Alumina-water Nanofluid in Vertical Square Enclosures: An Experimental Study", *International Journal of Thermal Sciences*. Vol. 49, pp. 1345-1353, 10.1016/j.ijthermalsci.2010.02.013, (2010).
- [34] Sheikhzadeh, G.A., and Dastmalchi, M., and Khorasanizadeh, H., "Effects of Nanoparticles Transport Mechanisms on Al₂O₃-Water Nanofluid Natural Convection in a Square Enclosure", *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 66, pp. 51-62, 10.1016/j.ijthermalsci.2012.12.001, (2013).

فهرست نمادهای انگلیسی

a: بردار شتاب بر حسب متر بر مجذور ثانیه

Co: عدد بی بعد کورانت

C_P: حرارت مخصوص بر حسب ژول بر کیلوگرم بر کلونین

d_p : قطر نانوذرات بر حسب نانومتر
 f_{drag} : ضریب نیروی پسا
 g : شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه
 J_{pB} : میزان پارامتریک تاثیر اثر انتشار براونی بر روی سرعت نسبی نانوسیال
 J_{pT} : میزان پارامتریک تاثیر اثر ترموفورسیس بر روی سرعت نسبی نانوسیال
 K_{eff} : قابلیت هدایت حرارتی موثر نانوسیال بر حسب وات بر متر بر کلوین
 L : طول و عرض حفره بر حسب متر
 Nu : عدد بی بعد ناسلت
 P_m : فشار نانوسیال بر حسب پاسکال
 q'' : شار حرارتی بر حسب وات بر متر مربع
 Ra : عدد بی بعد رایلی
 t : زمان بر حسب ثانیه
 T_c : دمای دیواره سرد حفره بر حسب کلوین
 T_h : دمای دیواره گرم حفره بر حسب کلوین
 u : مقدار مطلق سرعت در یک سلول بر حسب متر بر ثانیه
 $U_{dr, k}$: سرعت نسبی یک فاز به سرعت نانوسیال بر حسب متر بر ثانیه

نمادهای یونانی

α : ضریب نفوذ حرارتی
 β : ضریب انبساط حرارتی بر حسب واحد بر کلوین
 μ : لزجت دینامیکی بر حسب کیلوگرم بر متر بر ثانیه
 ν : لزجت سینماتیکی بر حسب متر مربع بر ثانیه
 ρ : چگالی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب
 φ : نسبت حجمی

Abstract

In this paper, heat transfer treatment of 0.3%, 1% and 2% alumina-water nanofluid under the effect of different forces on the relative velocity of basefluid and nanoparticles in a 2D square cavity is investigated using a developed solver in OpenFOAM work Frame. These forces which are inertia, Brownian diffusion, thermophoresis, diffusophoresis, Magnus effect, drained fluid and gravity were studied and the most important ones were entered into the conservation equations of the two phase mixture model as parameter J_p . This simulation is performed on laminar, free convection flow using PIMPLE (SIMPLE+PIZO) algorithm and boussinesq approximation for density. The results of different methods were presented in Nusselt-Rayleigh number diagrams. Examination of these results indicates better accuracy of the solver presented in this paper.