همایش ملی انرژی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر
آذر ۱۳۹٤

شبیه سازی عددی انتقال حرارت غیردائم نانو سیال در یک میکروکانال تحت اثر میدان مغناطیسی

کوشا معتمدی [۱] ، داود طغرایی [۲]، آرش کریم پور [۳]

* نویسنده مسئول: motamedi.koosha88@gmail.com

چکیده

هیدرودینامیک مغناطیسی شاخه ای نسبتا جدید ومهم از دینامیک سیالات است. این مبحث به بررسی اثرات متقابل سیالات و میدان های الکترومغناطیسی می پردازد. حرکت سیال در حضور میدان مغناطیسی منجر به اعمال نیروی جسمی به سیال می شود که می تواند رفتار هیدرودینامیکی و حرارتی سیال را به شدت تحت تاثیر قرار دهد.در کار حاضرنانوسیال آب و اکسید آلومینیوم انتخاب شده است و انتقال حرارت جابه جایی اجباری نیز در حضور میدان مغناطیسی بررسی می شود. حضور میدان باعث کاهش بیشینه سرعت و افزایش گرادیان سرعت در مجاورت دیواره های کانال می شود. همچنین میدان مغناطیسی باعث افزایش ضریب اصطکاک و افزایش جزئی عدد ناسلت می شود اما بخش در حال توسعه جریان چندان تحت تاثیر میدان قرار نمی گیرد.

واژه‌های کلیدی

نانوسیال،هیدرودینامیک مغناطیسی، میکروکانال، انتقال حرارت جابجایی اجباری

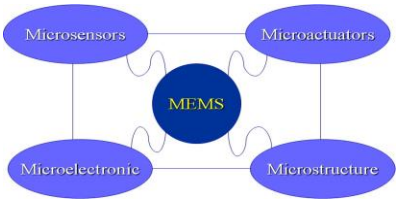
۱-دانشجوی ارشد، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد خمینی شهر

۲- استاد، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد خمینی شهر

۳-استاد، دانشکده مکانیک، دانشگاه آزاد خمینی شهر

۱- مقدمه

سیستم‌های الکترومکانیکی(MEMS)[۴] به عنوان یکی از آینده‌دارترین تکنولوژی‌ها در قرن ۲۱ شناخته می شوند که قادر هستند با یکپارچه سازی میکرو الکترونیک و تکنولوژی میکروماشین کاری، تحولی شگرف در صنعت و محصولات مصرفی ایجاد کنند. MEMSیک تکنولوژی برای ساخت قطعات و سیستم‌های کوچک مجتمع است که از ترکیب تجهیزات و قطعات الکترونیکی و مکانیکی به وجود می‌آید. این سیستم‌ها و قطعات با استفاده از روش‌های ساخت مدار مجتمع ساخته می‌شوند و اندازه آن‌ها از میکرومتر تا میلی‌متر تغییر می‌کند. در تولید MEMS، مباحث طراحی، مهندسی و ساخت و گستره وسیعی از روش‌ها همانند تکنولوژی ساخت مدار مجتمع، مهندسی مکانیک، علم مواد، مهندسی برق، فیزیک، شیمی و مهندسی شیمی و ... استفاده می‌شوند.MEMS در صنعت خودروسازی، پزشکی، الکترونیک، ارتباطات و ... می‌تواند کاربرد داشته باشد. قطعات موجودMEMS شامل شتاب سنج کیسه هوای خودرو، هد پرینترهای جوهرافشان، حسگرهای فشار خون، میکرو سوئیچ‌های نوری، میکرو شیرها،حسگرهای بیولوژیکی و...هستند.دربیشتر موارد، MEMS شامل میکرو ساختار، میکرو حسگر، میکرو عملگر و مدارهای میکرو الکترونیک است که همه روی یک تراشه سیلیکونی جمع شده‌اند.



شکل(۱) اجزاء موجود در یک قطعه MEMS [۱]

یکی از مسایلی که در بسیاری از صنایع و کارهای تحقیقاتی با آن مواجه می‌شویم نیاز به انتقال‌حرارت در زمان کوتاه و با نرخ حرارتی بالا است. در سرمایش و گرمایش سیالات برای بسیاری از فرآیندهای صنعتی شامل منابع حرارتی، فرآیندهای تولیدی، حمل و نقل و الکترونیک نقش مهمی دارد و منابع زیادی در مورد روش‌های افزایش نرخ انتقال-حرارت در این فرآیندها گزارش داده‌اند. بیشتر این روش‌ها بر مبنای تغییرات در ساختار تجهیزاتی، نظیر افزایش سطوح حرارتی (پره‌ها)، لرزش سطوح حرارتی، تزریق یا مکش سیال و اعمال جریان الکتریکی یا مغناطیسی متمرکز هستند. این روش‌ها به سختی می‌توانند از عهده تقاضای روزافزون انتقال حرارت و فشرده‌سازی در تجهیزاتی شامل تراشه‌های الکترونیکی، سیستم‌های لیزری و فرآیندهای با انرژی بالا برآیند. در این میان، موضوعی که به آن کمتر توجه شده است، تاثیر ضریب انتقال حرارت سیالات در توسعه تجهیزات انتقال حرارت با بازدهی بالاست. محیط‌های انتقال حرارت معمولاً از سیالاتی نظیر آب، اتیلن گلیکول یا روغن تشکیل شده‌اند. این سیالات در مقایسه با فلزات و حتی اکسیدهای فلزی ضریب انتقال حرارت بسیار پایینی دارند. به عنوان مثال، ضریب هدایت گرمایی مس ۷۰۰ برابر ضریب هدایت گرمایی آب و ۳۰۰۰ برابر ضریب هدایت گرمایی روغن موتور و ضریب هدایت گرمایی آب- اکسید آلومینیوم نیز ۶۰ برابر ضریب هدایت گرمایی آب است. بنابراین انتظار می‌رود سیالاتی که دارای ذرات بسیار ریز این ترکیبات هستند در مقایسه با سیالات خالص خواص گرمایی بهتری از خود نشان دهند. به دلیل مشکلات فنی، مطالعات انجام گرفته در این زمینه بیشتر بر روی سوسپانسیون‌ها (مخلوط کلوئیدی جامد در مایع) که شامل ذرات جامد معلق در حد میلی‌متر یا حداکثر میکرومتر هستند متمرکز

[4] Micro-Electronic-Mechanical-Systems (MEMS)

بوده است که در این مقیاس ذرات مشکلات جدی در تجهیزات انتقال حرارت ایجاد می‌کنند. طوری که این ذرات به سرعت در سیستم ته‌نشین می‌شوند و در صورتیکه کانال از قطر کمتری برخوردار باشد مشکل جدی‌تری خواهد بود. بطور مثال، در هنگام عبور از میکروکانال‌ها کلوخه شده و باعث گرفتگی مسیر می‌شوند که در نتیجه افت فشار زیادی ایجاد می‌کنند. بعلاوه، برخورد این ذرات با یکدیگر و همچنین با دیواره سیستم و تجهیزات ایجاد سایش می‌کند.

بدون شک پیشرفت‌های اخیر در تولید ذرات نانو را یک تحول در روش‌های افزایش انتقال حرارت می‌توان دانست زیرا اندازه کوچک ذرات و کسرحجمی پایین مورد استفاده مسائلی نظیر کلوخه شدن و افت فشار را حل می‌کند و به علت اندازه بسیار کوچک مسئله سائیدگی و آسیب رساندن به سیستم‌ها در مورد این ذرات وجود ندارد. علاوه بر این سطح نسبی بزرگ ذرات نانو، تأثیرات غیرتعادلی بین سیال و جامد را کاهش داده و باعث پایداری سوسپانسیون می‌شود و مسئله ته‌نشینی را کاهش داده و هزینه‌های لازم برای نگهداری و انتقال سیالات را کم می‌کند. همچنین به صورت تئوری هر قدر ذرات ریزتر باشند سطح نسبی انتقال حرارت آنها بیشتر می‌شود و در نتیجه بازده حرارتی ذرات معلق که تابعی از سطوح انتقال حرارت است با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد. مفهوم نانوسیال، سوسپانسیون‌های حاوی ذرات نانو، مواد فلزی و غیرفلزی را که به عنوان محیط‌های انتقال‌حرارت استفاده می‌شوندشامل می‌شود. به عنوان مثال، خون یک نانوسیال زیستی پیچیده است که نانوذرات مختلف در ابعاد ملکولی نقش‌های متفاوتی را ایفا می‌کنند. با توجه به نوع سیال پایه مورد استفاده (آلی یا غیرآلی) و همچنین نوع نانوذرات مورد نظر، انواع مختلفی از نانوسیال‌ها بوجود می‌آیند که می‌توان به نانوسیال‌های استخراجی، زیست‌محیطی (کنترلگر آلودگی محیط زیست)، زیستی و دارویی اشاره کرد. نانوسیال‌ها جنبه‌های ویژه‌ای دارند که آنها را از مخلوط سیالات دوفازی که در آنها ذرات در ابعاد میکرو یا میلی‌متر هستند، به طور کامل متمایز می‌کنند. چنین سیالاتی پتانسیل زیادی برای افزایش نرخ انتقال‌حرارت از خود نشان می‌دهند و با پخش و انتشار ذرات در اندازه‌های نانومتری در سیالات متداول انتقال‌دهنده حرارت، به منظور افزایش هدایت‌گرمایی و بهبود عملکرد انتقال حرارت، ساخته می‌شوند. نانوسیال یکی از تلاشهای جدید برای علوم حرارتی است که بوسیله فناوری نانو ایجاد شده است. در نتیجه سرمایه‌گذاری عظیم کشورهای پیشرفته روی فناوری نانو و تحقیقات روی خواص حرارتی نانوسیال‌ها، مورد توجه خاصی قرار گرفته است. همانطور که قبلاً ذکر شد مهم‌ترین اثر مشاهده شده در نانوسیال‌ها، افزایش قابل توجه هدایت گرمایی است، به طوریکه این افزایش قابل توجه حتی در غلظت پایین نانوسیال نیز مشاهده می‌شود. غلظت پایین نانوسیال باعث می‌شود که سیال رفتار نیوتونی خود را حفظ کند. به علاوه سوسپانسیون‌ها پایداری بالاتری از خود نشان می‌دهند. مهم‌ترین کاربرد نانوسیال‌ها به عنوان خنک-کننده است. سه عاملی که باعث می‌شوند تا نانوسیال‌ها خنک‌کننده‌های مناسبی باشند عبارتند از: بالا بودن ضریب هدایت گرمایی، بالا بودن انتقال حرارت در یک فاز و بالا بودن شار حرارتی بحرانی. امروزه در صنعت سرمایش و گرمایش، سیالات مبادله کننده حرارت نقش مهمی ایفا می-کنند. با توجه به بحران انرژی و مسایل زیست‌محیطی، استفاده از تجهیزات اقتصادی‌تر و سازگارتر با محیط‌زیست به عنوان یکی از موضوعات مهم علم انتقال حرارت تبدیل شده است. درحال حاضر از خنک‌کننده‌هایی مانند آب،

اتیلن گلیکول، روغن مبدل و ... در صنعت استفاده می‌شود. بازده پائین مایعات خنک‌کننده متداول خود باعث افزایش مصرف انرژی، حجیم تر شدن تأسیسات، افزایش فضای مورد نیاز برای تجهیزات و هزینه‌های جانبی دیگر می‌شوند. در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی جهت بهبود عملکرد حرارتی سیالات خنک‌کننده در جهان صورت گرفته است که نتیجه آن تولید نسل جدیدی از سیالات خنک‌کننده به نام نانو سیالات است.

به طور کلی به مخلوطی از نانو ذرات فلزی یا غیرفلزی با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر که در یک سیال پایه معلق شده باشند، نانو سیال اطلاق می‌شود. نمونه‌های فراوانی از نانو سیال‌ها در طبیعت وجود دارند. به عنوان مثال خون یک نانو سیال زیستی پیچیده است که نانو ذرات مختلف در ابعاد مولکولی نقش‌های متفاوتی را ایفا می‌کنند. با توجه به نوع سیال پایه مورد استفاده (آلی یا غیر آلی) و همچنین نوع نانو ذرات مورد نظر، انواع مختلفی از نانو سیال‌ها به وجود می‌آیند که به نانو سیال‌های استخراجی، زیست‌محیطی (کنترل‌گر آلودگی محیط‌زیست)، زیستی و دارویی می‌توان اشاره کرد. نانو سیال‌ها جنبه‌های ویژه‌ای دارند که آن‌ها را از مخلوط سیالات دو فازی که در آن‌ها ذرات در ابعاد میکرو یا میلی‌متر هستند، به طور کامل متمایز می‌کنند.مخلوط سیالات دو فازی مرسوم به دلیل درشت‌تر بودن ذرات، باعث انسداد کانال‌های جریان می‌شوند. علاوه بر آن سرعت ته‌نشینی ذرات در آن‌ها بالاتر بوده و افت فشار بیشتری را ایجاد می‌کنند. خوردگی خطوط لوله نیز در این موارد بسیار مشاهده می‌شود. توان مورد نیاز برای پمپاژ این سیالات بیشتر است. حال آنکه در نانو سیال‌ها به دلیل حرکت براونی و نیز تقابل های بین ذرات و سطح بالا این آثار کاهش می‌یابد.اولین بار چوی[۲] در آزمایشگاه آرگون[۵] در ایالات‌متحده نانو سیالات را تولید کرد. بعد از وی محققین زیادی در مورد خواص نانو سیالات به تحقیق و پژوهش پرداختند. طبق تحقیقات صورت گرفته عوامل گوناگونی همچون اندازه، جنس، شکل و کسرحجمی ذره، دما، نوع سیال پایه، نوع رژیم جریان (آرام یا متلاطم بودن)، ترکیبات نگه‌دارنده نانو سیال و بسیاری از عوامل دیگر در تعیین خواص نانو سیال و میزان انتقال حرارت آن‌ها موثر بودند.

امین السادات وهمکاران[۳] به بررسی تاثیر هیدرومغناطیس بر نانو سیال در میکروکانال پرداختند. نتیجه این تحقیق نشان داد که در چرخش های با جریان های قوی در داخل میکروکانال خطوط هم دما نزدیک به دیواره های عمودی هستند. در اعداد ریلی بالاتر و در اعداد هارتمن پایین تر برای یک شکاف با حجم جامد ثابت نیز چنین است.

وان و همکاران[۴] تاثیر اصطکاک و هدایت جابجایی را بر میکرو کانال ها بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که اهمیت همه گزینه های حاضر در تحقیق به رقیق شوندگی و اثر متقابل دیواره گازی و شرایط مرزی دمایی بستگی دارد. هتسرونی و همکاران[۵] در بحث انتقال حرارت درمیکروکانال ها نتایج آمایشگاهی را با نتایج حل عددی مقایسه کردند. نتیجه این تحقیق نشان داد که تحقیقات آزمایشگاهی انتقال حرارت در یک میکروکانال مسئله ای پیچیده است و این هم به دلیل اندازه کوچک میکرو کانال ها است.در این مسائل(میکروکانال ها) نیز تشخیص مستقیم پروفیل دما در جریان سیال در دیواره جامد دشوار است.

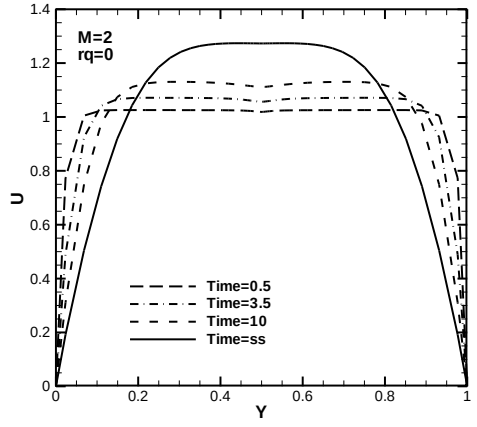
بیلی و همکاران[۶] این سوال را مطرح کردند که آیا استفاده از معادله برنولی در میکرو کانال ها صحیح است یا

[۵] Argonne

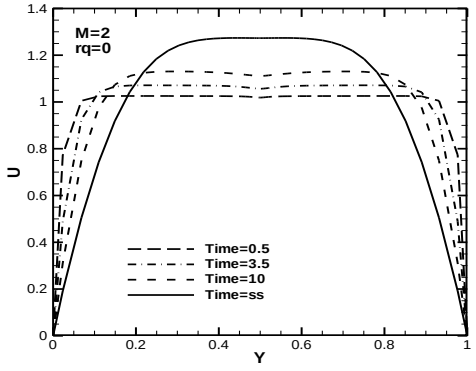
خیر؟ نتایج این تحقیق نشان دادند که مدل های تحلیلی که از تئوری سنتیک بررسی شده اند با مشاهدات آزمایشگاهی به خوبی هماهنگ هستند. ژانگ و همکاران[۷] به بررسی جدایی مغناطیسی سلول ها و ذرات نانوسیال آهن در حال جریان میان یک کانال مستقیم با استفاده از دو آهن ربای خم شده پرداختند. نتایج این تحقیق پیرامون جدایش مغناطیسی ذرات پلی استرین و جدایش مغناطیسی سلول های مخمر زنده از ذرات پلی استرین است.تاکنون رابطه دقیق و جامعی برای پیش‌بینی و تعیین ویژگی‌های فیزیکی نانو سیالات به دست نیامده است و روابط تجربی موجود از نانو سیالی به نانو سیال دیگر، از غلظتی به غلظت دیگر و حتی از اندازه ذره‌ای به اندازه ذره دیگر از همان جنس ذره، متفاوت هستند. بسکوک و همکاران[۸] به مطالعه مقدمات و اصول حاکم بر جریان در ابعاد میکرو پرداخته و توانستند روش‌هایی را برای شبیه سازی جریان گاز و اثرات رقت بودن آن در میکروکانال‌ها برای اعداد (Kn ۰/۳<) ارائه دهند. یو و آمیت[۹] مسئله انتقال حرارت جابه جایی اجباری سیال در یک میکرو کانال که تحت شرایط مرزی شار حرارتی ثابت قرار گرفته بودند به طور تحلیلی بررسی کردند. آنها دریافتند که افزایش عدد نادسن منجر به کاهش عدد ناسلت در ناحیه توسعه یافته جریان می‌شود. ابوعلی و فلاحت‌پیشه[۱۰] انتقال حرارت جابجایی طبیعی در یک حلقه عمودی را به صورت عددی بررسی کردند. آنها نشان دادند که استفاده از مدل نگویان[۱۱] برای پیش بینی لزجت نانوسیال آب-اکسید آلومینیوم، عدد ناسلت با افزایش کسر-حجمی کاهش می‌یابد. آنها مدعی شدند که دلیل کاهش انتقال حرارت با افزایش کسرحجمی نانوذرات ناشی از لزجت بالاتر در حضور نانوذرات است.

۲- پروفیل سرعت برای حالت غیر دائم جریان برای کسر حجمی یک درصد، دو درصد و سه درصد

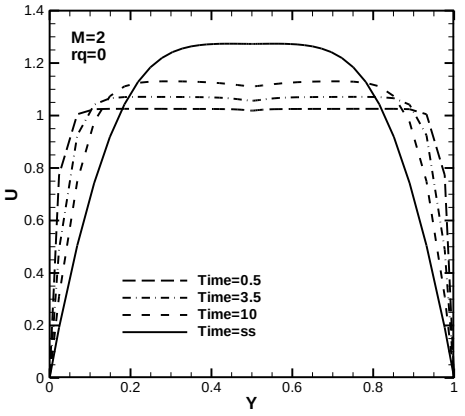
به منظور بررسی رفتار هیدرودینامیکی جریان پروفیل سرعت در حالت جریان غیر دائم در نمودار های (۱) تا (۳) و برای نسبت شار حرارت۰ و همچنین عدد هارتمن ۲ آورده شده است. همانطور که درنمودارهای(۱) تا (۳) دیده می شود در حالتی که جریان هنوز به مقدار دائم خود نرسیده است مقادیر سرعت با مقدار آنها در حالت دائم فاصله دارد و چون جریان دائم نشده است بنابراین با گذر زمان همچنان سرعت افزایش می یابد تا پس از دائم شدن جریان به مقدار نهایی خودش برسد. البته چنین امری طبیعی به نظر می رسد. همچنین حضور میدان مغناطیسی تاثیر قابل توجهی در رفتار غیر دائم جریان ندارد و الگوی جریان چندان دستخوش تغییر نمی شود.



نمودار(۱) کسر حجمی یک درصد، پروفیل سرعت در حالت غیر دائم برای نسبت شار۰و هارتمن ۲



نمودار(۲) کسر حجمی دو درصد، پروفیل سرعت در حالت غیر دائم برای نسبت شار۰و هارتمن ۲



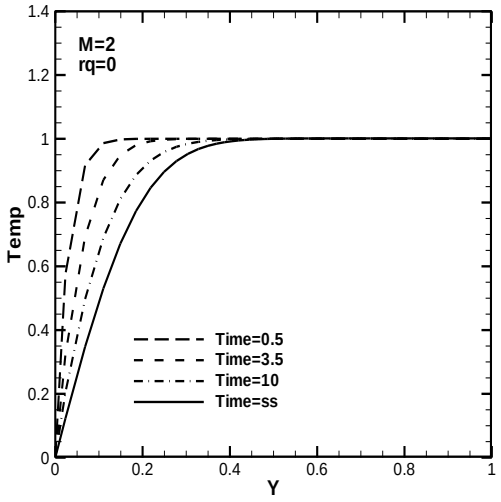
نمودار(۳) کسر حجمی سه درصد، پروفیل سرعت در حالت غیر دائم برای نسبت شار۰و هارتمن ۲

به دلیل افزایش کسر حجمی از یک درصد به دو درصد و سه درصد مقادیر بیشینه سرعت در حالت نهایی اندکی بیشتر از مقادیر آن در حالت کسر حجمی یک درصد می باشد. نکته دیگر اینکه حضور میدان مغناطیسی تاثیر چندانی در زمان دائم شدن جریان ندارد.

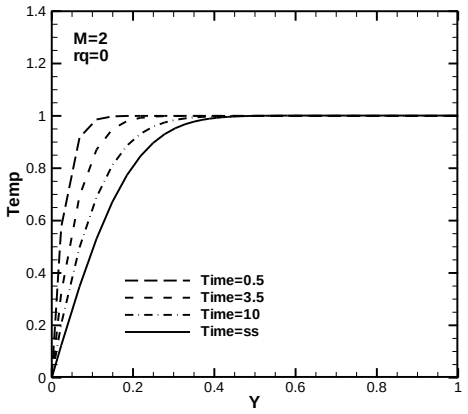
۲-۱ میدان دما برای حالت غیر دائم جریان با کسر حجمی یک درصد، دو درصد و سه درصد

به منظور بررسی رفتار حرارتی جریان میدان دما در حالت جریان غیر دائم در نمودارهای (۴) تا (۶) و برای نسبت شار حرارتی ۰ و همچنین عدد هارتمن ۲ آورده شده است.

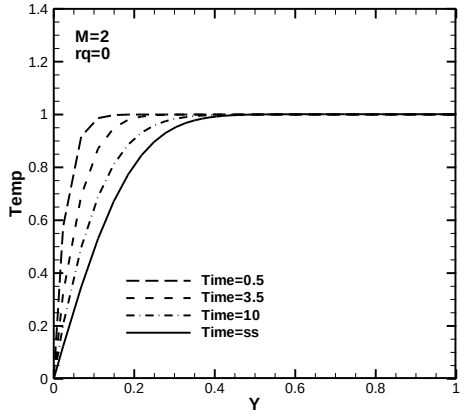
همانطور که درشکل ها دیده می شود در حالتی که جریان هنوز به مقدار دائم خود نرسیده است مقادیر دما با مقدار آنها در حالت دائم فاصله دارد و چون جریان دائم نشده است بنابراین با گذر زمان همچنان سرعت افزایش می یابد تا پس از دائم شدن جریان به مقدار نهایی خودش برسد. این امر برای عدد هارتمن۲و ۵ نیز وجود دارد و جریان رفتار غیر دائم مشابهی را طی می کند تا به حالت دائم برسد. البته چنین امری طبیعی به نظر می رسد. همچنین حضور میدان مغناطیسی تاثیر قابل توجهی در رفتار غیر دائم جریان ندارد و الگوی جریان چندان دستخوش تغییر نمی شود.



نمودار(۴) کسر حجمی یک درصد، پروفیل دما در حالت غیر دائم برای نسبت شار۰ و هارتمن ۲



نمودار(۵) کسر حجمی دو درصد، پروفیل دما در حالت غیر دائم برای نسبت شار۰ و هارتمن ۲

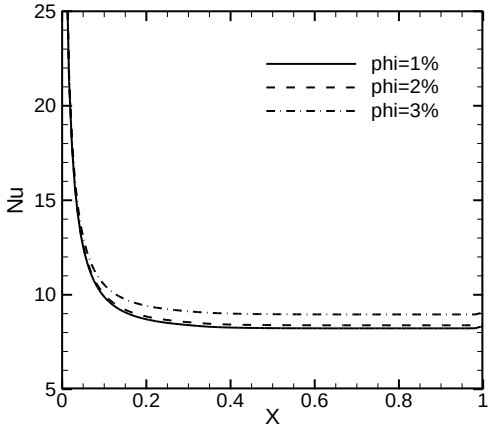


نمودار(۶) کسر حجمی دو درصد، پروفیل دما در حالت غیر دائم برای نسبت شار۰ و هارتمن ۲

جریان به لحاظ حرارتی سریعتر از جریان به لحاظ هیدرودینامیکی به حالت دائم می رسد. همچنین در حالتی که نسبت شار حرارتی برانر با صفر است پروفیل دما بر دیواره کانال عمود است که به دلیل آدیاباتیک بودن دیواره است. در واقع حالت کاملا مشابهی با کسر حجمی دو درصد وجود دارد و نمودار ها شبیه یکدیگرند.

۳- اثر کسر حجمی بر روی انتقال حرارت

به منظور بررسی اثر کسر حجمی نانو سیال بر روی انتقال حرارت تغییرات عدد ناسلت در طول کانال را بر حسب سه کسر حجمی متفات رسم کرده ایم . همانطور که مشاهده می شود عدد ناسلت تغییر قابل ملاحظه ای با کسر حجمی ندارد. در واقع اگرچه با افزایش کسرحجمی نانو سیال میزان ضریب انتقال حرارت جابه جایی افزایش می یابد ولی تواما مقدار ضریب هدایت گرمایی نیز بیشتر شده و بنابراین تغییرات عدد ناسلت که به هر دو پارامتر مذکور وابسته است تقریبا ناچیز خواهد ماند. این نکته به خوبی در شکل ۴- ۴۰ آورده شده است.



نمودار(۷) تغییرات عدد ناسلت با کسر حجمی

در واقع افزایش کسر حجمی منجر به افزایش گرادیان سرعت در مجاورت دیواره‌های کانال شده و بنابراین ضریب اصطکاک مقادیر بزرگتری را به خود اختصاص می‌دهد.

۴-روش حل و معادلات

برای هر روش حلی یک شبکه حل مورد نیاز است. در روش حجم محدود عموماً از دو شبکه جابجا شده[6] و هم مکان[7]استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در شبکه هم‌مکان میدان فشار نوسانی می‌شود، از شبکه جابجا شده استفاده خواهد شد. در روش شبکه جابجا شده

[6]-Staggered Grid
[7]-Colocated Grid

حجم معیار کمیت‌های اسکالر با کمیت‌های برداری متفاوت است، به نحوی که کمیت‌های اسکالر مانند فشار، دما و چگالی در مراکز سلولی محاسبه شده و کمیت‌های برداری در روی سطوح محاسبه می‌شوند.

(۱)

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial \upsilon}{\partial y}=0$$

(۲)

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\rho_{nf}\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)=\frac{-\partial p}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_{nf}\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_{nf}\frac{\partial u}{\partial y}\right)=-\sigma B_0^2 u$$

(۳)

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\rho_{nf}\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial \upsilon}{\partial y}\right)=\frac{-\partial p}{\partial y}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\mu_{nf}\frac{\partial v}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\mu_{nf}\frac{\partial v}{\partial y}\right)$$

(۴)

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\rho_{nf}c_{p,nf}\left(u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(k_{nf}\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_{nf}\frac{\partial T}{\partial y}\right)$$

که در آن μ_{nf} لزجت دینامیکی، P فشار، B_0 شدت میدان مغناطیسی یکنواخت، σ رسانایی الکتریکی سیال، c_p گرمای ویژه، k رسانندگی گرمایی و T دما می‌باشد.

۵- نتیجه گیری

جریان غیر دائم، آرام، در حال توسعه و انتقال حرارت و جابه جایی اجباری، سیال آب و نانو سیال اکسید آلومینیوم در یک میکروکانال شامل دو صفحه تخت موازی با شرایط مرزی شار حرارتی ثابت و غیرمتقارن در سطح، تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی عرضی ثابت به طور عددی مورد بررسی قرار گرفته است. تأثیر پارامترهای هارتمن و نسبت شار حرارتی بر روی مشخصه‌های حرارتی و هیدرودینامیکی جریان بررسی شده و مهمترین یافته‌ها عبارتند از:

۱) میدان مغناطیسی تأثیر قابل توجهی برای پروفیل سرعت برای هر دو ناحیه در حال توسعه و توسعه یافته کانال دارد وافزایش عدد هارتمن منجر به کاهش بیشینه سرعت در کانال و افزایش گرادیان سرعت بر روی دیواره‌های کانال می‌شود.

۲) پروفیل دمای بی بعد نیز با میدان مغناطیسی تغییر کرده و مقادیر بزرگتری را اختیار می‌کند. اثرات میدان مغناطیسی بر روی دما در حالت rq=۰ بیشتر می‌باشد.

۳) حضور میدان مغناطیسی تاثیر چنداتی بر رفتار غیر دائم جریان ندارد.

۴) با افزایش کسر حجمی عدد ناسلت اندکیافزایش می یابد.

۶- علائم

ضریب انتقال حرارت جابجایی $(\frac{W}{m^2K})$	h
ضریب هدایت حرارتی $(\frac{W}{m\ K})$	k
ضریب هدایت الکتریکی	σ
شار حرارتی(W)	r_q
سرعت $(\frac{m}{s})$	U
میدان الکتریکی	B

C_P	ظرفیت گرمایی ویژه $(\frac{J}{kgC})$
M	عدد هارتمن
ρ	چگالی سیال $(\frac{kg}{m^3})$
μ	لزجت سیال $(\frac{kg}{m.s})$
ν	لزجت دینامیکی سیال پایه $(\frac{kg}{m.s})$

مراجع:

[1] M. Gad-el-Hak, *The MEMS handbook*: CRC/Taylor & Francis Florida, 2006.

[2] S. Chol, "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles," *ASME-Publications-Fed*, vol. 231, pp. 99-106, 1995.

[3] S. Aminossadati, A. Raisi, and B. Ghasemi, "Effects of magnetic field on nanofluid forced convection in a partially heated microchannel," *International Journal of Non-Linear Mechanics*, vol. 46, pp. 1373-1382, 2011.

[4] J. Van Rij, T. Ameel, and T. Harman, "An evaluation of secondary effects on microchannel frictional and convective heat transfer characteristics," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 52, pp. 2792-2801, 2009.

[5] G. Hetsroni, A. Mosyak, E. Pogrebnyak, and L. Yarin, "Heat transfer in micro-channels: Comparison of experiments with theory and numerical results," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 48, pp. 5580-5601, 2005.

[6] C. L. Bailey, R. W. Barber, and D. R. Emerson, "Is it safe to use Navier–Stokes for gas microflows," in *European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering*, 2004.

[7] J. Zeng, Y. Deng, P. Vedantam, T.-R. Tzeng, and X. Xuan, "Magnetic separation of particles and cells in ferrofluid flow through a straight microchannel using two offset magnets," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 346, pp. 118-123, 2013.

[8] A. Beskok and G. E. Karniadakis, "Report: a model for flows in channels, pipes, and ducts at micro and nano scales," *Microscale Thermophysical Engineering*, vol. 3, pp. 43-77, 1999.

[9] S. Yu and T. A. Ameel, "Slip-flow heat transfer in rectangular microchannels," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 44, pp. 4225-4234, 2001.

[10]O. Abouali and A. Falahatpisheh, "Numerical investigation of natural convection of Al2O3 nanofluid in vertical annuli," *Heat and mass transfer*, vol. 46, pp. 15-23, 2009.

[11] C. Nguyen, F. Desgranges, N. Galanis, G. Roy, T. Maré, S. Boucher, *et al.*, "Viscosity data for Al 2 O 3–water nanofluid—hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable?," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 47, pp. 103-111, 2008.