دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد در مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

عنوان:

شبیه سازی عددی انتقال حرارت جابجایی ترکیبی و مغشوش سیال نانو درون کانال با سطح مقطع مستطیلی تحت شار حرارتی ثابت در دیواره با استفاده از مدل مخلوط

استاد راهنما:

دکتر علیرضا حسین نژاد دوین

استاد مشاور:

دکتر امین بهزادمهر

تحقیق و نگارش:

محمد باقرزاده

(این پایان نامه از حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان بهره مند شده است)

بهمن ۱۳۹۰

بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان **شبیه سازی عددی انتقال حرارت جابجایی ترکیبی و مغشوش سیال نـانو درون کانال با سطح مقطع مستطیلی تحت شار حرارتی ثابت در دیواره با استفاده از مدل مخلوط** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک توسط دانشجو محمد بـاقرزاده تحـت راهنمـایی اسـتاد پایان نامه دکتر علیرضا حسین نژاد دوین تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظـور اهـداف آموزشـی بـا ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

محمد باقرزاده

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	دکتر علیرضا حسین نژاد		
استاد راهنما:			
استاد مشاور:	دکتر امین بهزادمهر		
استاد مشاور:			
داور ۱:	دکتر حسین آتشی		
داور ۲:	دکتر محمد حسین شفیعی		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	دکتر محمد خرم		

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب محمد باقرزاده تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: محمد باقرزاده

امضاء

به:

اسطوره شرافت

پدرم

مادر صداقت

مادرم

خانواده ام

و تمام آزادگان میهن...

سپاسگزاری

بی شک انجام این کار به صورت حاضر، بدون یاری و مشورت های جناب آقای دکتر حسین نـژاد میسـر نبـود، لازم می دانم از تلاش و زحمت های ایشان سپاسگزاری نمایم. در تمام مراحل این کار خانواده ام بـا بزرگـورای تمام یاری رساندند و پشتیبانی نمودند که صمیمانه قدردان این زحمات مـی باشـم و بـه صـورت خـاص لطـف فراوان برادرم، هرمز باقرزاده، در خاطرم خواهد ماند. همچنین از دوستانم، مهندس مسـعود چتـر آذر، مهنـدس محمد شریعت و مهندس سهیل غنمی که همواره از مشورت آنان بهره بردم، تشکر می نمایم.

چکیده:

امروزه صنعت، نیازمند مبدل های حرارتی با قابلیت حرارت بالا و اندازه کوچک می باشد. سیالات معمولی مانند آب دارای ضریب انتقال حرارت پایینی می باشند، بنابراین از ذرات ریز جامد در اندازه نانو درون سیال پایه برای افزایش انتقال حرارت استفاده می شود. از این رو، در این کار انتقال حرارت جابجایی اجباری و ترکیبی نانوسیال درون کانال سه بعدی با سطح مقطع مستطیلی در حالت مغشوش و با استفاده از مدل دو فازی مخلوط به صورت عددی بررسی شده است. مدل مذکور شامل یک معادله پیوستگی، یک معادله مومنتم و یک معادله انرژی برای مخلوط و یک معادله کسر حجمی برای فاز دوم می باشد و از یک بیان ریاضی برای سرعت نسبی فازها استفاده می‌کند. این مدل برای گسسته سازی معادلات حاکم از روش حجم محدود استفاده می‌کند. سیال پایه مورد استفاده در این کار آب و از اکسید آلومینیوم به عنوان نانوذرات استفاده شده است. در کار حاضر اثر کسر حجمی نانوذرات و نسبت منظری بر جریان و انتقال حرارت جابجایی ترکیبی و اجباری در جریان مغشوش، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. همچنین تاثیر قطر متوسط نانوذرات بر روی پارامترهای حرارتی و هیدرودینامیکی مطالعه و نتایج آن تحلیل و بررسی گردیده است. نتایج بی بعد نشان می دهد که با افزیش کسر حجمی نانوذرات در اعداد رینولدز و ریچاردسون ثابت در انتقال حرارت جابجایی اجباری و ترکیبی، مقدار عدد ناسلت افزایش می یابد ولی ضریب اصطکاک متوسط سطحی دچار تغییر محسوسی نمی‌شود. همچنین در حالت بررسی بعددار نتایج نشان می دهد که با افزایش کسر حجمی نانوذرات تا ۵ درصد، مقدار اختلاف دمای ورودی و خروجی نانوسیال در انتقال حرارت جابجایی اجباری، تا بیش از ۱۶ درصد و در حالت انتقال حرارت جابجایی ترکیبی، تا ۱۷/۸ درصد نسبت به کسر حجمی صفر افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: نانوسیال، مدل مخلوط غیر همگن، انتقال حرارت جابجایی، جریان مغشوش، کانال سه بعدی مستطیلی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱
۱-۱- فناوری نانو ۲
۱-۲- تاریخچه فناوری نانو ۲
۱-۳- توضیحاتی پیرامون نانوسیال ۳
۱-۴- مروری بر تعدادی از کارهای انجام شده در زمینه انتقال حرارت هدایتی نانوسیال ۴
۱-۵- مروری بر تعدادی از کارهای انجام شده در زمینه انتقال حرارت جابجایی نانوسیال ۶
۱-۶- اهمیت و کاربرد ۱۲
۱-۷- پژوهش حاضر ۱۲
فصل دوم: معرفی مسئله، معادلات حاکم، شرایط مرزی و روش حل عددی ۱۳
۲-۱- تعریف مسئله ۱۴
۲-۲- معادلات حاکم ۱۴
۲-۲-۱- مدل دو فازی (مدل مخلوط) ۱۴
۲-۲-۲- مدل بوزینسک ۱۵
۲-۲-۳- معادله پیوستگی ۱۶
۲-۲-۴- معادله مومنتم ۱۶
۲-۲-۵- معادله کسر حجمی فاز دوم ۱۷
۲-۲-۶- معادله انرژی ۱۷
۲-۲-۷- مدل مغشوش بکار گرفته شده ۱۸
۲-۳- خواص فیزیکی و اعداد بی بعد مورد بررسی در مسئله ۱۸
۲-۳-۱- چگالی ۱۹
۲-۳-۲- ظرفیت گرمایی ۱۹
۲-۳-۳- ضریب هدایت حرارتی ۱۹
۲-۳-۴- ویسکوزیته ۱۹
۲-۳-۵- ضریب انبساط حجمی ۲۰
۲-۴- شرایط مرزی ۲۰
۲-۴-۱- شرایط مرزی ورودی: ۲۰
۲-۴-۲- شرایط مرزی دیواره: ۲۱
۲-۴-۳- شرایط مرزی خروجی: ۲۱
۲-۵- اعداد بدون بعد حاکم بر مسئله ۲۱

۲-۶- روش حل عددی ۲۲
۲-۷- بررسی صحت کد محاسباتی ۲۳
۲-۷-۱- بررسی استقلال شبکه ۲۳
۲-۷-۲- بررسی صحت کد محاسباتی ۳۰
۲-۷-۲-۱- مقایسه عدد ناسلت ۳۰
۲-۷-۲-۲- بررسی ضریب اصطکاک دارسی ۳۲
فصل سوم: اثرات تغییر کسر حجمی نانوذرات بر روی پارامترهای هیدرودینامیکی و حرارتی ۳۴
۳-۱- انتقال حرارت جابجایی اجباری ۳۵
۳-۱-۱- بررسی اثرات تغییر کسر حجمی بر روی پارامتر های هیدرودینامیکی و حرارتی بدون بعد ... ۳۵
۳-۱-۱-۱- بررسی اثر تغییر کسر حجمی نانوذرات بر روی دما ۳۶
۳-۱-۱-۲- بررسی اثر تغییر کسر حجمی جامد- مایع بر روی سرعت بی بعد ۳۸
۳-۱-۱-۳- بررسی افزایش کسر حجمی ذارت نانو بر روی عدد ناسلت ۴۰
۳-۱-۱-۴- اثرات افزایش کسر حجمی نانوذارت بر روی ضریب اصطکاک سطحی کانال ۴۱
۳-۱-۲- اثر تغییر کسر حجمی نانوذرات بر روی پارامتر های هیدرودینامیکی و حرارتی بعد دار ۴۳
۳-۱-۲-۱- اثر افزایش کسر حجمی بر روی اختلاف دمای ورودی و خروجی ۴۳
۳-۱-۲-۲- اثر افزایش کسر حجمی نانوذرات بر روی دما ۴۴
۳-۱-۲-۳- اثرات افزایش کسر حجمی بر روی سرعت محوری ۴۹
۳-۱-۲-۴- اثر افزایش کسر حجمی بر روی ضریب انتقال حرارت جابجایی ۵۱
۳-۱-۲-۵- اثر افزایش کسر حجمی بر روی تنش برشی دیواره ۵۲
۳-۲- انتقال حرارت ترکیبی ۵۳
۳-۲-۱- بررسی اثرات تغییر کسر حجمی بر روی پارامتر های هیدرودینامیکی و حرارتی بدون بعد ... ۵۳
۳-۲-۱-۱- بررسی اثر تغییر کسر حجمی نانوذرات بر روی دما ۵۴
۳-۲-۱-۲- بررسی اثر تغییر کسر حجمی نانوذرات بر روی سرعت محوری ۵۷
۳-۲-۱-۳- بررسی اثر تغییر کسر حجمی نانوذرات بر روی عدد بی بعد ناسلت ۶۰
۳-۲-۱-۴- اثر تغییر کسر حجمی نانوذرات بر روی ضریب اصطکاک سطحی کانال ۶۱
۳-۲-۲- .بررسی اثرات تغییر کسر حجمی نانوذرات بر روی پارامتر های هیدرودینامیکی و حرارتی بعددار در انتقال حرارت جابجایی ترکیبی ۶۱
۳-۲-۲-۱- اثر افزایش کسر حجمی بر روی دما ۶۳
۳-۲-۲-۲- اثرات افزایش کسر حجمی نانوذرات بر روی سرعت محوری ۶۷
۳-۲-۲-۳- اثرات افزایش کسر حجمی نانوذرات بر روی ضریب انتقال حرارت جابجایی ترکیبی ... ۶۹
فصل چهارم: اثر تغییر نسبت منظری (ارتفاع به عرض کانال) بر روی پارامتر های حرارتی و هیدرودینامیکی ۷۲
۴-۱- انتقال حرارت جابجایی اجباری ۷۳
۴-۱-۱- بررسی اثر تغییر نسبت منظری بر پروفیل دما ۷۴
۴-۱-۲- بررسی اثر تغییر نسبت منظری بر پروفیل سرعت ۷۴
۴-۱-۳- بررسی اثرات تغییر نسبت منظری بر ضریب انتقال حرارت جابجائی اجباری ۷۵
۴-۱-۴- بررسی اثرات تغییر نسبت منظری بر روی عدد بی بعد ناسلت ۷۶

۴-۱-۵- بررسی اثر تغییر نسبت منظری بر روی ضریب اصطکاک سطحی ۷۷
۴-۲- انتقال حرارت جابجایی ترکیبی ۷۷
۴-۲-۱- بررسی اثرات تغییر نسبت منظری بر پروفیل دما ۷۸
۴-۲-۲- بررسی اثر تغییر نسبت منظری بر روی پروفیل سرعت ۸۰
۴-۲-۳- بررسی اثر تغییر نسبت منظری بر روی ضریب انتقال حرارت جابجائی اجباری ۸۰
۴-۲-۴- بررسی اثر تغییر نسبت منظری بر روی عدد بی بعد ناسلت ۸۱
۴-۲-۵- بررسی اثر تغییر نسبت منظری بر روی ضریب اصطکاک سطحی ۸۲
فصل پنجم: اثر تغییر قطر نانوذرات بر روی پارامتر های حرارتی و هیدرودینامیکی ۸۴
۵-۱- جابجائی اجباری ۸۵
۵-۱-۱- تاثیر تغییر قطر نانوذرات بر روی دمای بی بعد ۸۶
۵-۱-۲- تاثیر تغییر قطر نانوذرات بر روی سرعت محوری بی بعد ۸۸
۵-۱-۳- تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی اجباری با افزایش قطر ذرات ۸۹
۵-۱-۴- تغییرات عدد بی بعد ناسلت با افزایش قطر نانوذرات ۹۰
۵-۱-۵- تغییرات ضریب اصطکاک متوسط سطحی کانال با افزایش قطر نانوذرات ۹۱
۵-۲- جابجایی ترکیبی ۹۱
۵-۲-۱- تاثیر تغییر قطر ذرات بر روی پروفیل دمای بی بعد ۹۲
۵-۲-۲- تاثیر تغییر قطر نانوذرات بر روی پروفیل سرعت محوری بی بعد ۹۳
۵-۲-۳- بررسی تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی با افزایش قطر متوسط نانوذرات ۹۴
۵-۲-۴- بررسی تغییرات عدد بی بعد ناسلت با افزایش قطر متوسط نانوذرات ۹۵
۵-۲-۵- بررسی تغییرات ضریب اصطکاک سطحی متوسط کانال با افزایش قطر متوسط نانوذرات ۹۶
فصل ششم: نتیجه گیری ۹۸
مراجع ۱۰۳
پیوست (الف): نحوه استفاده از نرم افزار فلوئنت برای حل این مسئله ۱۰۶
پیوست (ب): ژورنال فایل ایجاد شده برای نرم افزار GAMBIT ۱۶۰
پیوست (ج): بدست آوردن معادلات حاکم بر جریان مغشوش ۱۶۵

فهرست جدول ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۲-۱. اعداد بدون بعد حاکم بر مسئله ۹

جدول۲-۲. خواص آب و اکسید آلومینیوم در دمای ۲۹۳ کلوین ۱۱

جدول۲-۳. مقادیراعداد بی بعد حاکم بر جریان داخل کانال در بررسی استقلال شبکه ۱۱

جدول ۲-۴. بررسی استقلال شبکه ۱۲

جدول ۲-۵. مقایسه عدد ناسلت با رابطه دیتوس- بولتر ۱۹

جدول ۲-۶. مقایسه ضریب اصطکاک دارسی با ضرایب بلازیوس و پتخوف ۲۱

جدول ۳-۱. تغییرات خواص فیزیکی سیال نانو در کسر های حجمی مختلف ۳۴

جدول ۳-۲. مقادیر عدد پرانتل و شار حرارتی در کسر حجمی های مختلف ۳۵

جدول ۳-۳. مقادیر عدد ناسلت و درصد افزایش نسبت به کسر حجمی صفر درصد ۴۰

جدول ۳-۴. مقادیر اعداد بدون بعد در کسر حجمی های مختلف ۴۲

جدول ۳-۵. بررسی اختلاف دمای ورودی و خروجی نانوسیال در کسر حجمی های مختلف ۴۳

جدول ۳-۶. مقادیر شار حراتی دیواره ها برای کسر حجمی های مختلف در انتقال حرارت جابجائی ترکیبی ۵۴

جدول ۳-۷. مقادیر عدد ناسلت و درصد افزایش نسبت به کسر حجمی صفر درصد ۵۹

جدول ۳-۸. مقادیر عدد رینولدز و ریچاردسون در کسر حجمی های مختلف ۶۱

جدول ۳-۹. اختلاف دمای ورودی و خروجی نانوسیال در کسر حجمی های مختلف برای شار حرارتی و دبی جرمی ثابت در انتقال حرارت جابجایی ترکیبی ۶۲

جدول ۴-۱. حرارت کل وارد شده بر کانال در نسبت های منظری مختلف کانال ۷۲

جدول ۴-۲. حرارت کل وارد شده بر نانوسیال در نسبت های منظری مختلف کانال ۷۷

جدول ۵-۱. مقادیر خواص فیزیکی در قطرهای متوسط متفاوت ۸۴
جدول ۵-۲. مقادیر عدد بی بعد پرانتل در قطر متوسط نانوذرات ۸۴
جدول ۵-۳. مقادیر شار حرارتی اعمالی به دیواره ها در قطرهای متفاوت نانوذرات ۸۵
جدول ۵-۴. مقادیر شار حرارتی اعمالی به دیواره ها در قطرهای متفاوت نانوذرات ۹۱

فهرست شکل ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل۲-۱. هندسه مساله ۲

شکل ۲-۲. نحوه مش بندی کانال مورد بررسی ۱۱

شکل ۲-۳. تغییرات دمای بی بعد بر روی خط محوری کانال در$L / D_h = 100$ و $x^*=0$ و $Y^*=0$ ۱۳

شکل ۲-۴. تغییرات سرعت محوری بر روی خط محوری کانال در$L / D_h = 100$ و $x^*=0$ و $Y^*=0$ ۱۴

شکل ۲-۵. تغییرات دما بی بعد روی خط عمود بر روی محور کانال برای $L / D_h = 100$ $Z^* = 80$و $X^* = 0$ در مقطع ۱۴

شکل ۲-۵. تغییرات دما بی بعد روی خط عمود بر روی محور کانال برای $L / D_h = 100$ $Z^* = 80$ و $X^* = 0$ در مقطع ۱۵

شکل ۲-۶. تغییرات سرعت محوری بی بعد روی خط عمود بر روی محور کانال برای $L / D_h = 100$ در $Z^* = 80$ در$X^* = 0$ ۲۶

شکل ۲-۷. تغییرات دمای بی بعد روی خط عمود بر روی محور کانال برای $L / D_h = 100$ $Z^* = 80$ و $X^* = 0$ ۲۷

شکل ۲-۸. تغییرات سرعت محوری بی بعد روی خط عمود بر روی محور کانال در $L / D_h = 100$ و $Z^* = 80$ و $Y^* = 0$ ۲۸

شکل ۲-۹. تغییرات سرعت محوری بی بعد بر روی خط محوری کانال در $L / D_h = 100$و $x^*=0$ و $Y^*=0$ ۲۸

شکل ۲-۱۰. تغییرات دمای بی بعد بر روی خط محوری کانال در$L / D_h = 100$ و $x^*=0$ و $Y^*=0$ ۲۹

شکل۲-۱۱. مقایسه عدد ناسلت با رابطه Dittus-Boelter ۳۱

شکل ۲-۱۲. مقایسه ضریب اصطکاک با روابط بلازیوس و پتخوف ۳۲

شکل ۳-۱. تغییرات دمای بی بعد بر روی خط عمود بر محور کانال برای $L / D_h = 100$ در مقطع $Z^* = 80$ و $X^* = 0$ ۳۶

شکل ۳-۲. کانتور های دمای بی بعد در $Re = 50000$، $Ri = 0.01$، $L / D_h = 100$ و$AR = 0.75$ برای مقطع $Z^* = 80$ ۳۷

شکل ۳-۳. تغییرات سرعت محوری بدون بعد بر روی خط عمود بر محور کانال برای $L / D_h = 100$ در $Z^* = 80$ در$X^* = 0$ ۳۸

شکل ۳-۴. کانتور های سرعت بی بعد در $Re = 50000$، $Ri = 0.01$، $L / D_h = 100$ و$AR = 0.75$ برای مقطع $Z^* = 80$ ۳۹

شکل ۳-۵. تغییرات عدد بی بعد ناسلت در طول کانال در $L / D_h = 100$ ۴۰

شکل ۳-۶. تغییرات ضریب اصطکاک سطحی در طول کانال در $L / D_h = 100$ ۴۱

شکل ۳-۷. تغییرات دمای نانوسیال برای $D_h = 0.01m$، $2b = 0.00875m$، $L = 1m$، $AR=0.75$، $T_i = 20c^\circ$، $q_w = 10^6(w / m^2)$ و $\dot{m} = 0.66078(kg / s)$ در مقطع $z = 0.8m$ و $x = 0$ ۴۴

شکل ۳-۸. تغییرات دمای میانگین محیطی نانوسیال در طول کانال برای $D_h = 0.01m$، $2b = 0.00875m$، $L = 1m$، $AR=0.75$، $T_i = 20c^\circ$، $q_w = 10^6(w / m^2)$ و $\dot{m} = 0.66078(kg / s)$ ۴۵

شکل ۳-۹. تغییرات دمای میانگین محیطی دیواره های کانال در طول کانال برای $D_h = 0.01m$، $2b = 0.00875m$، $L = 1m$، $AR=0.75$، $T_i = 20c^\circ$، $q_w = 10^6(w / m^2)$ و $\dot{m} = 0.66078(kg / s)$ ۴۶

شکل ۳-۱۰. اختلاف دمای میانگین محیطی دیواره و دمای میانگین محیطی نانوسیال در طول کانال برای $D_h = 0.01m$، $2b = 0.00875m$، $L = 1m$، $AR=0.75$، $T_i = 20c^\circ$، $q_w = 10^6(w / m^2)$ و $\dot{m} = 0.66078(kg / s)$ ۴۷

شکل ۳-۱۱. کانتور های دمای نانوسیال برای $D_h = 0.01m$، $2b = 0.00875m$، $L = 1m$، $AR=0.75$، $T_i = 20c^\circ$، $q_w = 10^6(w / m^2)$ و $\dot{m} = 0.66078(kg / s)$ در مقطع

۴۸ $z = 0.8m$

شکل ۳-۱۲. تغییرات سرعت محوری برای $D_h = 0.01m$، $2b = 0.00875m$، $L = 1m$،

$AR=0.75$، $T_i = 20c^{\circ}$، $q_w = 10^6(w / m^2)$ و $\dot{m} = 0.66078(kg / s)$ در مقطع

۴۹ $z = 0.8m$ و $x = 0$

شکل ۳-۱۳. کانتور های سرعت محوری برای $D_h = 0.01m$، $2b = 0.00875m$، $L = 1m$،

$AR=0.75$، $T_i = 20c^{\circ}$، $q_w = 10^6(w / m^2)$ و $\dot{m} = 0.66078(kg / s)$ در مقطع

۵۰ $z = 0.8m$

شکل ۳-۱۴. تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی اجباری در طول کانال برای

$q_w = 10^6(w / m^2)$، $T_i = 20c^{\circ}$، $AR=0.75$، $L = 1m$، $2b = 0.00875m$، $D_h = 0.01m$

۵۱ و $\dot{m} = 0.66078(kg / s)$

شکل ۳-۱۵. تغییرات تنش برشی دیواره ها در طول کانال برای $D_h = 0.01m$،

و $q_w = 10^6(w / m^2)$، $T_i = 20c^{\circ}$، $AR=0.75$، $L = 1m$، $2b = 0.00875m$

۵۲ $\dot{m} = 0.66078(kg / s)$

شکل ۳-۱۶. تغییرات دمای بی بعد بر روی خط عمود بر محور کانال برای $L / D_h = 100$ در

۵۳ مقطع $Z^* = 80$ در $X^* = 0$

شکل ۳-۱۷. تغییرات بزرگ نمایی شده دمای بی بعد بر روی خط عمود بر محور کانال برای

$L / D_h = 100$ در مقطع $Z^* = 80$ در $X^* = 0$

۵۴ شکل ۳-۱۸. کانتور های دمای بی بعد در $Re = 10000$، $Ri = 0.4$، $L / D_h = 100$ و

$AR = 0.75$ برای مقطع $Z^* = 80$

شکل ۳-۱۹. تغییرات سرعت محوری بدون بعد بر روی خط عمود بر محور کانال برای

۵۵ $L / D_h = 100$ در مقطع $Z^* = 80$ در $X^* = 0$

شکل ۳-۲۰. کانتور های سرعت محوری بی بعد در $Re = 10000$، $Ri = 0.4$، $L / D_h = 100$،

۵۶ و $AR = 0.75$ برای مقطع $Z^* = 80$

شکل ۳-۲۱. بردارهای سرعت ثانویه در $Re = 10000$، $Ri = 0.4$، $L / D_h = 100$ و

۵۷ $AR = 0.75$ برای مقطع $Z^* = 80$

شکل ۳-۲۲. تغییرات عدد بی بعد ناسلت در طول کانال در $L / D_h = 100$ ۵۸

شکل ۳-۲۳. تغییرات بزرگ نمایی شده عدد بی بعد ناسلت در طول کانال در $L / D_h = 100$ ۵۹

شکل ۳-۲۴. تغییرات ضریب اصطکاک متوسط سطحی در طول کانال در $L / D_h = 100$ ۵۹

شکل ۳-۲۵. پروفیل دمای نانوسیال برای $D_h = 0.03m$، $2b = 0.02625m$، $L = 3m$، $T = 20°c$، $q_w = 34000(\ w / m^2\ )$ و $\dot{m} = 0.462943(kg / s)$ در مقطع $z = 2.4m$ و $x = 0$ ۶۰

شکل ۳-۲۶. پروفیل بزرگ نمایی شده دمای نانوسیال برای $D_h = 0.03m$، $2b = 0.02625m$، $L = 3m$، $T = 20°c$، $q_w = 34000(\ w / m^2\ )$ و $\dot{m} = 0.462943(kg / s)$ در مقطع $z = 2.4m$ و $x = 0$ ۶۲

شکل ۳-۲۷. تغییرات دمای میانگین محیطی نانوسیال در طول کانال برای $D_h = 0.03m$، $2b = 0.02625m$، $L = 3m$، $T = 20°c$، $q_w = 34000(\ w / m^2\ )$ و $\dot{m} = 0.462943(kg / s)$ ۶۳

شکل ۳-۲۸. تغییرات دمای میانگین محیطی دیواره های کانال در طول کانال برای $D_h = 0.03m$، $2b = 0.02625m$، $L = 3m$، $T = 20°c$، $q_w = 34000(\ w / m^2\ )$ و $\dot{m} = 0.462943(kg / s)$ ۶۴

شکل ۳-۲۹. کانتور های دمای نانوسیال برای $D_h = 0.03m$، $2b = 0.02625m$، $L = 3m$، $T = 20°c$، $q_w = 34000(\ w / m^2\ )$ و $\dot{m} = 0.462943(kg / s)$ در مقطع $z = 2.4m$ و $x = 0$ ۶۵

شکل۳-۳۰. تغییرات سرعت محوری برای $D_h = 0.03m$، $2b = 0.02625m$، $L = 3m$، $T = 20°c$، $q_w = 34000(\ w / m^2\ )$ و $\dot{m} = 0.462943(kg / s)$ در مقطع $z = 2.4m$ و $x = 0$ ۶۶

شکل ۳-۳۱. کانتور های سرعت محوری بی بعد برای $D_h = 0.03m$، $2b = 0.02625m$، $L = 3m$، $T = 20°c$، $q_w = 34000(\ w / m^2\ )$ و $\dot{m} = 0.462943(kg / s)$ در مقطع $z = 2.4m$ و $x = 0$ ۶۷

شکل ۳-۳۲. تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی ترکیبی در طول کانال برای ۶۸

$q_w = 34000(w/m^2)$ ،$T = 20°c$ ،$L = 3m$ ،$2b = 0.02625m$ ،$D_h = 0.03m$ و

$\dot{m} = 0.462943(kg/s)$

شکل۳-۳۳. تغییرات بزرگنمایی شده ضریب انتقال حرارت جابجایی ترکیبی در طول کانال ۶۹

برای $D_h = 0.03m$ ،$2b = 0.02625m$ ،$L = 3m$ ،$T = 20°c$ ،$q_w = 34000(w/m^2)$ و

$\dot{m} = 0.462943(kg/s)$

شکل ۴-۱ تغییرات دمای بی بعد بر روی خط عمود بر محور کانال برای $L/D_h = 100$ در ۷۰

مقطع $Z^* = 80$ در $X^* = 0$

شکل ۴-۲. تغییرات پروفیل سرعت محوری بی بعد بر روی خط عمود بر محور برای ۷۳

$L/D_h = 100$ در مقطع $Z^* = 80$ در $X^* = 0$

شکل ۴-۳. تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی اجباری در طول کانال ذر $L/D_h = 100$ ۷۴

شکل ۴-۴. تغییرات عدد بی بعد ناسلت در طول کانال در $L/D_h = 100$ ۷۵

شکل ۴-۵. تغییرات ضریب اصطکاک سطحی در طول کانال در $L/D_h = 100$ ۷۵

شکل ۴-۶. تغییرات دمای بی بعد بر روی خط عمود بر محور کانال برای $L/D_h = 100$ در ۷۶

مقطع $Z^* = 80$ در $X^* = 0$

شکل ۴-۷. تغییرات بزرگنمایی شده دمای بی بعد بر روی خط عمود بر محور کانال برای ۷۸

$L/D_h = 100$ در مقطع $Z^* = 80$ در $X^* = 0$

شکل ۴-۸. تغییرات پروفیل سرعت محوری بی بعد روی خط عمود بر محور کانال برای ۷۸

$L/D_h = 100$ در مقطع $Z^* = 80$ در $X^* = 0$

شکل ۴-۹. تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی اجباری در طول کانال ذر $L/D_h = 100$ ۷۹

شکل ۴-۱۰. تغییرات عدد بی بعد ناسلت در طول کانال در $L/D_h = 100$ ۸۰

شکل ۴-۱۱. تغییرات ضریب اصطکاک سطحی کانال در طول کانال در $L/D_h = 100$ ۸۱

شکل ۵-۱. تغییرات دمای بی بعد بر روی خط عمود بر محور کانال برای $L/D_h = 100$ در ۸۱

مقطع $Z^* = 80$ و $X^* = 0$

شکل ۵-۲. کانتور های دمای بی بعد در $Re = 30000$، $Ri = 0.01$، $L/D_h = 100$ ۸۶

و$AR = 0.25$ برای مقطع $Z^* = 80$

شکل ۵-۳. تغییرات سرعت محوری بی بعد بر روی خط عمود بر محور کانال برای $L / D_h = 100$ در مقطع $Z^* = 80$ و $X^* = 0$ ۸۷

شکل ۵-۴. کانتور های دمای بی بعد در $Re = 30000$، $Ri = 0.01$، $L / D_h = 100$ و$AR = 0.25$ برای مقطع $Z^* = 80$ ۸۷

شکل ۵-۵. تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجائی در طول کانال برای $L / D_h = 100$ ۸۸

شکل ۵-۶. تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجائی در طول کانال برای $L / D_h = 100$ ۸۹

شکل ۵-۷. تغییرات ضریب اصطکاک سطحی در طول کانال برای $L / D_h = 100$ ۸۹

شکل ۵-۸. تغییرات پروفیل دما بی بعد بر روی خط فرضی عمود بر محور کانال برای $L / D_h = 100$ در مقطع $Z^* = 80$ و $X^* = 0$ ۹۰

شکل ۵-۹. تغییرات پروفیل دمای بی بعد در مرکز کانال بر روی خط فرضی عمود بر محور کانال برای $L / D_h = 100$ در مقطع $Z^* = 80$ و $X^* = 0$ ۹۱

شکل ۵-۱۰. تغییرات سرعت محوری بی بعد بر روی خط فرضی عمود بر محور کانال برای $L / D_h = 100$ در مقطع $Z^* = 80$ و $X^* = 0$ ۹۲

شکل ۵-۱۱. تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی ترکیبی در طول کانال برای $L / D_h = 100$ ۹۳

شکل ۵-۱۲. تغییرات عدد بی بعد ناسلت در طول کانال برای $L / D_h = 100$ ۹۴

شکل ۵-۱۳. تغییرات ضریب اصطکاک سطحی در طول کانال برای $L / D_h = 100$ ۹۵

۹۶

فهرست علائم

علامت	نشانه
AR	نسبت منظری (نسبت ارتفاع کانال به عرض کانال)
2a(m)	عرض کانال
2b(m)	ارتفاع کانال
C_p(J/kgK)	ظرفیت گرمای
D_h(m)	قطر هیدرولیکی کانال
dp (nm)	قطر نانو ذرات
d_f(nm)	قطر مولکولی سیال پایه
f	ضریب اصطکاک سطحی
g(m/s^2)	شتاب جاذبه
$Gr = \frac{g\,\beta_{eff}\,q_w\,D_h^4}{K_{eff}\,\nu_{eff}^2}$	عددگراشهف
K(W / m-K)	قابلیت هدایت حرارتی
n	بردار نرمال عمود بر سطح
$Nu = \frac{q_w D_h}{K_{eff}\,(T_w - T_m)}$	عدد ناسلت
P(Pa)	فشار
$pr = \frac{\mu_f}{\rho_f\,\alpha_f}$	عدد پرانتل
q_w(W/s^2)	شار حرارتی یکنواخت

$Re = \frac{\rho u D_h}{\mu}$	عدد رینولدز
$Ri = \frac{Gr}{Re^2}$	عدد ریچاردسن
T(K)	دما
V(m/s)	سرعت
x, y, z	جهت های مختصاتی
$X^* = x / a$	عرض بی بعد
$Y^* = y / b$	ارتفاع بی بعد
$Z^* = z / D_h$	طول بی بعد

علائم یونانی

α	نفوذ گرمایی
β	ضریب انبساط حجمی
δ	فاصله بین نانو ذرات
ϕ	کسر حجمی
$\mu(N.s/m^2)$	ویسکوزیته دینامیک
$\nu(m^2/s)$	ویسکوزیته سینماتیک
$\rho(kg/m^3)$	چگالی
τ (Pa)	تنش برشی

زیرنویس

dr	رانش
eff	موثر
f	سیال پایه
k	اندیس
m	مخلوط
nf	نانوسیال

i	شرط ورودی
p	ذرات
t	مغشوش
w	دیوار