



(عنوان مقاله : بررسی ضریب انتقال حرارت جابجایی در جریان دوفازی سیال ساختار)

نام و نام خانوادگی نویسنده اول : الهام زارع زاده

دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی دانشگاه خیا مشهد

چکیده :

امروزه با رشد و توسعه تکنولوژی های نوین، انتقال حرارت، کاهش زمان انتقال حرارت، کوچک سازی اندازه مبدل های حرارتی و در نهایت افزایش راندمان بهبود تجهیزات حرارتی مورد توجه بوده فرایند خنک کاری توسط سیالات به عنوان یکی از مهمترین چالش های موجود در کاهش مصرف انرژی در بسیاری از صنایع مانند الکترونیک، حمل و نقل، تولید توان و ماشین کاری بسیار مهم است در این شبیه سازی دارای یک مکعب با مستطیل های درونش که به صورت مانع دار در نظر گرفته شده ، و دمای ثابت ۱۵/۲۹۳ درجه کلون و چگالی ثابت ۱۰۰۰، سرعت ثابت ۰.۱ متر بر ثانیه در ورودی شکل که جریان آرام در نظر گرفته شده است، در این حل عددی معادله های اساسی حاکم بر مکانیک سیالات، معادله پایداری جرم (پیوستگی) و معادله پایداری تکانه (یا همان معادلات ناویر - استوکس) می باشند. در این شبیه سازی عددی از معادلات انرژی، پیوستگی، مومنتوم در حل عددی جریان سیال کوپل می شود. اثر تنش، افزایش عدد رینولدز، اثر نانوسیال در تنش حرارتی منحنی شکل در شبیه سازی مورد نظر بررسی می شود.

واژگان کلیدی:

تنش، سرعت، افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی، اثر تغییرات سطحی صفحه



مقدمه :

بررسی روش های افزایش انتقال حرارت در لوله های های حرارتی جهت افزایش راندمان در طول سالیان گذشته مورد توجه بسیاری از صنایع از قبیل تبرید، تهویه مطبوع، خودروسازی، فضایی، پتروشیمی، دارویی، غذایی و نیروگاه های حرارتی قرار گرفته است. با بالا رفتن راندمان مبدل اندازه آن کوچکتر شده و در مصرف انرژی صرفه جویی می شود. نکته مهم دیگری که در مورد لوله های حرارتی وجود دارد افت فشار است. به عبارت دیگر باید تغییرات افت فشار را همراه با افزایش انتقال حرارت در نظر داشت، زیرا کاهش افت فشار متناسب با کاهش هزینه عملکرد است. پس می توان گفت یکی از دلایل مهم بررسی روش های افزایش انتقال حرارت بهینه سازی مصرف انرژی است که این موضوع باعث شده تا تکنولوژی افزایش انتقال حرارت در لوله های حرارتی جذاب و مهم باشد. سیالات مرسوم مانند آب، روغن موتور، اتیلن گلیکول و مایعات معدنی نقش حیاتی را در بسیاری از فرآیندهای صنعتی همچون تولید نیرو، فرآیندهای شیمیایی، فرآیندهای سرمایش و گرمایش، حمل و نقل، میکروالکترونیک و کاربردهای دیگر در مقیاس میکرو متری ایفا میکنند. خواص ضعیف انتقال حرارتی این سیالات اولین مانع تأثیرگذار در بهبود راندمان لوله های حرارتی به شمار میرود. از آنجا که هدایت ذرات جامد صدها برابر بیشتر از سیالات است، راه مبتکران های که کشف شد، تهیه سوسپانسیونی از ذرات ریز جامد در سیالات خالص بود و این ایده یک راهکار برای افزایش خواص انتقال حرارتی سیالات مرسوم حامل انرژی بود. انواع گوناگون ذرات فلزی، غیرفلزی و پلیمری را میتوان به سیال پایه افزود و یک محصول دوغابی شکل تهیه کرد [1]. ذرات فلزی رایج شامل فلزات پایدار شیمیایی، اکسید فلزات و مواد با پایه کربن می باشند [2]. اما سوسپانسیون ها با ذرات معلق در اندازه های میکرومتری و حتی میلی متری مشکلاتی همچون اثر ساییدگی ذرات، مسدود کردن مسیر کانال، فرسایش شبکه لوله، کاهش انتقال مومنوم و افزایش افت فشار ایجاد می کنند [3]. بخصوص اینکه ذرات شدیداً تمایل به ته نشین شدن در سوسپانسیون دارند. اگرچه سوسپانسیون دوغابی شکل، هدایت حرارتی بالاتری نسبت به سیالات پایه دارد، اما هنوز برای استفاده به عنوان سیال حامل انرژی برای کاربردهای عملی مناسب نمیباشد. راهی که به کمک نانوسیالات آمد و به بهبود ویژگی های انتقال حرارتی سیالات منتهی شد، علم نانو تکنولوژی بود. استفاده از ذرات با اندازه نانومتری در سیال خالص پایه برای اولین بار در آزمایشگاه ملی آرگون آمریکا توسط چویی مطرح شد. او این سوسپانسیون را "نانوسیال" نامید و بخاطر این کشف مورد تحسین جهانی قرار گرفت. نانوسیالات در مقایسه با سوسپانسیون های حاوی ذرات میکرومتری و میلیمتری، پایداری طولانی تر و خواص رئولوژیکی بهتری از خود نشان داده و در کنار آن موجب افزایش هدایت حرارتی نیز شدند. در سالهای گذشته بسیاری از محققین خواص انتقال حرارت انواع گوناگون نانوسیال را مطالعه کرده و مورد بررسی قرار دادند روش های افزایش انتقال حرارت را می توان به دو دسته طبقه بندی نمود: ۱- روش فعال ۲- روش غیر فعال انرژی خارجی مانند میدان الکترواستاتیکی روش فعال افزایش اختلاط توده ای سیال در مجاورت سطح تبادل حرارت (ارتعاش صوتی (ایجاد امواج صوتی در سیال) تزریق یا مکش (سطوح انتقال حرارت متخلخل) وسایل کمکی مکانیکی (به هم زدن سیال توسط وسایل مکانیکی یا چرخش سطح لوله) و ارتعاش سطح یا سیال (بکارگیری فرکانس های بالا یا پایین برای بهبود انتقال حرارت استفاده می شود. برای روشهای غیر فعال نیازی به انرژی خارجی نمی باشد بلکه میتوان با زبر کردن سطح، استفاده از سطوح گسترش یافته، افزودن ملحقه و یا افزودن ذرات جامد و حباب های گاز به سیال انتقال حرارت را افزایش داد. تمام روش های افزایش انتقال حرارت اعم از فعال یا غیرفعال را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: افزایش انتقال حرارت در جریان اصلی و افزایش انتقال حرارت در جریان ثانویه. استفاده از سطوح گسترش یافته يك روش غیر فعال افزایش انتقال حرارت در جریان ثانویه است. بیشتر تحقیقاتی که تاکنون در این زمینه انجام شده تأثیر این تولیدکننده ها گردابه را روی سیال نیوتنی بررسی کرده اند. با توجه به تنوع زیاد سیالات غیرنیوتنی و اهمیت کاربرد

این سیالات در مبدل های حرارتی مورد استفاده در صنایع غذایی، دارویی و پتروشیمی و از طرفی کم بودن تحقیقات انجام شده در این زمینه، لزوم بررسی رفتار این سیالات در مبدل ها را مشخص می کند. از طرفی با توجه به پایین بودن ضریب انتقال حرارت سیالات غیرنیوتنی بکار بردن روش های افزایش انتقال حرارت از جمله روش الحاقی برای این نوع سیالات میتواند مفید باشد. در فصل بعد کارهای انجام شده روی سیالات غیرنیوتنی معرفی می شود و سپس بر تحقیقات انجام شده در روش الحاقی مروری خواهد شد [۴].



روش تحقیق :

تکنولوژی مدرن فرصت بیشتری را برای تهیه مواد در مقیاس میکرو و نانومتری فراهم می آورد. مواد جامد با ساختار نانو، در واقع خواص فیزیکی را که توسط توده جامد نمی توان بیان کرد، تولید و یا بهبود می بخشد. تمام مکانیسم های فیزیکی دارای یک مقیاس طول بحرانی میباشند، که پایین تر از آن خواص فیزیکی مواد تغییر میابند. بنابراین ذرات با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر خواص متفاوتی از جامدات مرسوم را بیان میکنند. خواص خوب مواد نانو فاز از نسبت تقریباً بالای مساحت سطح به حجم که به خاطر تراکم بالای اتم های تشکیل دهنده که در مرز ذره اقامت دارند، ناشی میشود. خواص حرارتی، مکانیکی، چشمی، مغناطیسی و الکتریکی مواد نانو فاز بیشتر از مواد معمولی با ساختار دانه درشت می باشد [۵]. نانوسیالات یک سیستم دوفازی شامل مایع و ذرات جامد با محدوده ی اندازه ی نانومتری میباشد. تمایل دانشمندان به این سیستم ها در واقع به این حقیقت بر میگردد که حتی غلظت پایین نانو ذرات در مایع می تواند تغییر بزرگی در خواص حرارتی سیال پایه بوجود بیاورد. کاربرد عملی نانوسیال در ایجاد عملکرد بالای سیال حامل حرارت میباشد [۶]. اخیراً محققان از نانو ذرات برای کاربردهای متنوع در زمینه انتقال حرارت استفاده کردهاند و تلاش براین بوده که خواص فیزیکی - حرارتی پایه مانند: هدایت حرارتی، ویسکوزیته، دانسیته و ضریب انتقال حرارت را تعیین کنند. امروزه محققان سعی میکنند که کاربرد نانوسیال را در زمینه های متنوع گسترش دهند. از آنجا که سیالات معمولی خنک کننده مانند: آب و هوا قابلیت کافی برای ارسال گرما از تجهیزات صنعتی را نشان میدهند، محققان برای یک وسیله مناسب جهت سرمایش مؤثر تحقیق کرده اند. بیشتر مطالعات انجام شده اشاره به استفاده از نانوسیال در کاربرد های متنوع صنعتی مانند: تولید برق، فرآیندهای شیمیایی، میکروالکترونیک، حمل و نقل، تهویه و کاربردهای با اندازه میکرو دارند. بنابراین تعدادی از کارهای تجربی و مدل های تئوری توسط محققان برای بهبود خواص حرارتی نانوسیال، گسترش یافتند [۷].

اکسید آلومینیوم

اکسید آلومینیوم از نظر بلورشناسی دارای فازهای متنوعی است که دو فاز مهم آن، فاز آلفا دارای ساختار بلوری شش گوشه و فاز گاما مکعبی می باشد. این ترکیب یکی از مهمترین سرامیک های الکترونیکی است که کاربردهای صنعتی زیادی از قبیل پوشش گرما، مقاوم گرمایی، دانه های سایشی، مواد برش دهنده، کاتالیزور، میکروالکترونیک و ... دارد، همچنین به علت سختی و مقاومت بالای آن نسبت به ساختار الکترونی اکسید، اسیدها و بازها، کاربردهای دمایی بالا و مقاومت پوششی عالی دارد آلومینیوم، تنوع کاربرد در وسایل اپتیکی، ساختاری و الکترونیکی را فراهم میسازد. همچنین فاز گامای آن به عنوان کاتالیست و محافظ کاتالیست کاربرد زیادی در کامپوزیتهای ساختاری و صنعت سرامیک دارد و از نظر تجاری نیز در تزئینات، داروسازی و رنگرزی استفاده می شود [۱۸]. روش های بسیاری برای سنتز نانو ذرات اکسید آلومینیوم وجود دارد که از نقطه نظر نحوه سنتز به دو روش کلی فیزیکی و شیمیایی دسته بندی میشوند. روشهای فیزیکی شامل آسیاب مکانیکی، ذوب لیزر، اسپری داغ و تجزیه گرمایی در پلاسما و از جمله روشهای شیمیایی میتوان، رسوب دهی و لایه نشانی با بخار را نام برد [۱۹].



۲-۱-۲ پیشینه ی مختصری از مواد نانو ساختار

نانوساختارها تلاقی کوچکترین ابزار ساخت بشر و بزرگترین مولکولها از اجزا زنده هستند. ماده نانو-ساختار، جامدی کریستالی در مقیاس نانومتر میباشد. در قرون وسطا شیشه گران نمیدانستند که چرا با اضافه کردن طلا به شیشه رنگ آن تغییر میکند. در آن زمان برای ساخت شیشه های کلیساهای قرون وسطایی از ذرات نانومتری طلا استفاده میشد و با این کار شیشه های رنگی بسیار جذابی تهیه میگردد. در واقع یافتن مثال هایی برای استفاده از نانوذرات فلزی چندان سخت نیست [۲۰]. رنگدانه های تزئینی جام مشهور لیکرگوس در روم باستان (قرن چهارم بعد از میلاد) نمونه ای از آنها می باشد. پایه گذار علم نانو ریچارد فاینمن بود و به همین خاطر جایزه نوبل را در فیزیک دریافت کرد

تکنولوژی مدرن فرصت بیشتری را برای تهیه مواد در مقیاس میکرو و نانومتری فراهم می آورد. مواد جامد با ساختار نانو، در واقع خواص فیزیکی را که توسط توده جامد نمی توان بیان کرد، تولید و یا بهبود می بخشد. تمام مکانیسم های فیزیکی دارای یک مقیاس طول بحرانی میباشد، که پایین تر از آن خواص فیزیکی مواد تغییر میابند. بنابراین ذرات با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر خواص متفاوتی از جامدات مرسوم را بیان میکنند. خواص خوب مواد نانو فاز از نسبت تقریباً بالای مساحت سطح به حجم که به خاطر تراکم بالای اتم های تشکیل دهنده که در مرز ذره اقامت دارند، ناشی میشود. خواص حرارتی، مکانیکی، چشمی، مغناطیسی و الکتریکی مواد نانو فاز بیشتر از مواد معمولی با ساختار دانه درشت می باشد [۵]. نانوسیالات یک سیستم دوفازی شامل مایع و ذرات جامد با محدوده ی اندازه ی نانومتری میباشد. تمایل دانشمندان به این سیستم ها در واقع به این حقیقت بر میگردد که حتی غلظت پایین نانو ذرات در مایع می تواند تغییر بزرگی در خواص حرارتی سیال پایه بوجود بیاورد. کاربرد عملی نانوسیال در ایجاد عملکرد بالای سیال حامل حرارت میباشد [۶]. اخیراً محققان از نانو ذرات برای کاربردهای متنوع در زمینه انتقال حرارت استفاده کردهاند و تلاش براین بوده که خواص فیزیکی - حرارتی پایه مانند: هدایت حرارتی، ویسکوزیته، دانسیته و ضریب انتقال حرارت را تعیین کنند. امروزه محققان سعی میکنند که کاربرد نانوسیال را در زمینه های متنوع گسترش دهند. از آنجا که سیالات معمولی خنک کننده مانند: آب و هوا قابلیت کافی برای ارسال گرما از تجهیزات صنعتی را نشان میدهند، محققان برای یک وسیله مناسب جهت سرمایش مؤثر تحقیق کرده اند. بیشتر مطالعات انجام شده اشاره به استفاده از نانوسیال در کاربرد های متنوع صنعتی مانند: تولید برق، فرآیندهای شیمیایی، میکروالکترونیک، حمل و نقل، تهویه و کاربردهای با اندازه میکرو دارند. بنابراین تعدادی از کارهای تجربی و مدل های تئوری توسط محققان برای بهبود خواص حرارتی نانوسیال، گسترش یافتند [۷].

اکسید آلومینیوم

اکسید آلومینیوم از نظر بلورشناسی دارای فازهای متنوعی است که دو فاز مهم آن، فاز آلفا دارای ساختار بلوری شش گوشه و فاز گاما مکعبی می باشد. این ترکیب یکی از مهمترین سرامیک های الکترونیکی است که کاربردهای صنعتی



زیادی از قبیل پوشش گرها، مقاوم گرمایی، دانه های سایشی، مواد برش دهنده، کاتالیزور، میکروالکترونیک و ... دارد، همچنین به علت سختی و مقاومت بالای آن نسبت به ساختار الکترونی اکسید، اسیدها و بازها، کاربردهای دمایی بالا و مقاومت پوششی عالی دارد آلومینیوم، تنوع کاربرد در وسایل اپتیکی، ساختاری و الکترونیکی را فراهم میسازد. همچنین فاز گامای آن به عنوان کاتالیست و محافظ کاتالیست کاربرد زیادی در کامپوزیتهای ساختاری و صنعت سرامیک دارد و از نظر تجاری نیز در تزئینات، داروسازی و رنگرزی استفاده می شود [18]. روش های بسیاری برای سنتز نانو ذرات اکسید آلومینیوم وجود دارد که از نقطه نظر نحوه سنتز به دو روش کلی فیزیکی و شیمیایی دسته بندی میشوند. روشهای فیزیکی شامل آسیاب مکانیکی، ذوب لیزر، اسپری داغ و تجزیه گرمایی در پلاسما و از جمله روشهای شیمیایی میتوان، رسوب دهی و لایه نشانی با بخار را نام برد [19].

پیشینه ی مختصری از مواد نانوساختار 2-1-2

نانوساختارها تلاقی کوچکترین ابزار ساخت بشر و بزرگترین مولکولها از اجزا زنده هستند. ماده نانو-ساختار، جامدی کریستالی در مقیاس نانومتر میباشد. در قرون وسطا شیشه گران نمیدانستند که چرا با اضافه کردن طلا به شیشه رنگ آن تغییر میکند. در آن زمان برای ساخت شیشه های کلیساهای قرون وسطایی از ذرات نانومتری طلا استفاده میشد و با این کار شیشه های رنگی بسیار جذابی تهیه میگردد. در واقع یافتن مثال هایی برای استفاده از نانوذرات فلزی چندان سخت نیست [20]. رنگدانه های تزئینی جام مشهور لیکرگوس در روم باستان (قرن چهارم بعد از میلاد) نمونه ای از آنها می باشد. پایه گذار علم نانو ریچارد فاینمن بود و به همین خاطر جایزه نوبل را در فیزیک دریافت کرد

معادلات حاکم و شرایط مرزی

معادلات اساسی حاکم بر مسئله در روش ضمنی حجم محدود و به صورت مرتبه دوم بالا دست گسسته و به مجموعه ای از معادلات جبری تبدیل شده است و با استفاده از روش تکراری الگوریتم سیمپل چندین حل تا همگرایی لازم حاصل گردید از الگوریتم سیمپل در حل همزمان سرعت و فشار در جریان دائم و آرام دو بعدی استفاده شده است. شرایط مرزی خاص مسئله در محاسبات برخورد افقی انتقال حرارت اجباری و شار ثابت در فصول مشترک مته دریل و فرو سیال عبوری از داخل آن در نظر گرفته شده است. ضرایب انتقال حرارت اجباری و شار ثابت در لوله پله دار با ورود مسئله گرافیکی و همچنین خواص فروسیال در درصدهای حجمی مختلف توسط فرمول های ریاضی ارائه شده در بخش حاضر این فصل محاسبه شده است. در این حل عددی معادله های اساسی حاکم بر مکانیک سیالات، معادله پایداری جرم (پیوستگی) و معادله پایداری تکانه (یا همان معادلات ناویر - استوکس) می باشند. در این شبیه سازی عددی از معادلات انرژی، پیوستگی، مومنتوم در حل عددی جریان سیال کوپل می شود. تاثیر افزایش عدد رینولدز، غلظت حجمی نانوسیال، بر روی ضریب انتقال حرارت جابجایی بررسی شده است این داده ها قابلیت ذخیره سازی در محیط اکسل را دارند.



۳-۴- مدل سازی ریاضی و شبیه سازی داده ها

۳-۴-۱ مدل سازی ریاضی فرآیند و معادلات

در این قسمت میتوان با نوشتن معادلات حاکم بر سیستم و همچنین استفاده از خواص نانوسیال در مدل موردنظر با استفاده از نرم افزار رفتار سامانه موردنظر را پیش بینی کرد. در واقع با انجام مدل سازی ریاضی مربوط به فرآیند میتوان اثر پارامترهای مختلف را بر عملکرد سیستم موردنظر بررسی کرد.



$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$	معادله پیوستگی (3-1)
$\rho n f \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu n f \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$	معادله مومنوم در جهت x (2-3)
$\rho n f \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu n f \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$	معادله مومنوم در جهت y (3-3)
$(\rho c_p) n f \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k n f \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$	معادله انرژی (3-4)

2-4-3- روابط ریاضی در محاسبه خواص نانوسیال

در این شبیه سازی عددی از آب به عنوان سیال پایه که نانو ذرات Fe_3O_4 افزوده شده، استفاده شده است. مشخصات سیال پایه و نانو در جدول 2-4 نشان داده شده است.

$\rho_m = (1 - \phi) \rho_f + \phi \rho_p$	(3-5) چگالی فروسیال (ρ_m)
$\beta_m = (1 - \phi) \beta_f + \phi \beta_p$	(3-6) ضریب انبساط حرارتی فروسیال (β_m)
$\mu_m = \mu_f (1 - \phi)^{-2.5}$	(3-7) ویسکوزیته دینامیکی فروسیال (μ_m)
$K_m = k_f \left[\frac{2 + k_p f + 2 \phi (K_p f - 1)}{2 + K_p f - \phi (K_p f - 1)} \right]$	(3-8) ضریب هدایت حرارتی فروسیال (K_m)
$C_{pm} = \frac{1}{\rho_m} [(1 - \phi) \rho_f c_{pf} + \phi \rho_p c_{pp}]$	(3-9) گرمای ویژه فروسیال (C_{pm})

می توان فرض کرد که پروفیل سرعت در نقاط مختلف لایه مرزی به صورت تابعی از ضخامت جریان بر ضخامت لایه مرزی باشد یعنی:

$$\frac{u}{u_1} = \text{function} \left(\frac{y}{\delta} \right) \quad (6)$$

پروفیل سرعت مشابه فرض می شود اگرچه δ با تغییر x تغییر می کند و گرچه سرعت در یک فاصله ثابت از دیواره با x تغییر می کند ولی در یک مقدار ثابت $\frac{y}{\delta}$ (δ ضخامت لایه مرزی در یک مکان می باشد) سرعت مقدار ثابتی باقی می ماند. اثبات اینکه پروفیل های مشابه وجود دارند در زیر آمده است.

برای اینکه فرضیه لایه مرزی قابل کاربرد باشد باید:

$$\frac{\delta}{x} = O \left(\frac{1}{\sqrt{Re_x}} \right) \quad (7)$$

طول مشخصه در اینجا x می باشد که البته Re_x بیانگر عدد رینولدز بر مبنای x می باشد.

بنابر این با توجه به معادله 8 می توان معادله 7 را به صورت زیر نوشت:

$$\frac{u}{u_1} = F \left(\frac{y}{x} \sqrt{Re_x} \right) \quad (8)$$

که متداول است تعریف:

$$\eta = \frac{y}{x} \sqrt{Re_x} = \eta \sqrt{\frac{u_1}{\nu x}} \quad (9)$$





که متغیر η به عنوان متغیر تشابه نامیده می شود.

در نتیجه معادله 9 می تواند به صورت زیر نوشته شود.

$$\frac{u}{u_1} = F(\eta) \quad (10)$$

معادله پیوستگی را در نظر بگیرید با توجه به اینکه شرایط مرزی در معادله 6 مقدار V را روی دیواره برابر صفر بدست می دهد، از معادله پیوستگی می توان نسبت به η انتگرال گرفت که به عبارت زیر برای v در هر نقطه لایه مرزی منجر می شود.

$$v = -\int_0^y \frac{\partial u}{\partial x} dy = -\sqrt{\frac{xV}{u_1}} \int_0^\eta u_1 \frac{dF}{d\eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} d\eta \quad (11)$$

که :

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{1}{2} \frac{y}{x} \sqrt{\frac{u_1}{xV}} = -\frac{\eta}{2x} \quad (12)$$

بنابراین معادله 12 را می توان به صورت زیر نوشت:

$$v = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{V}{xu_1}} \int_0^\eta \frac{dF}{d\eta} \eta d\eta \quad (13)$$

به دلیل فرم انتگرال فوق متداول است که تابع جدید f را که با رابطه زیر به F مربوط می شود تعریف کنند:

$$\frac{df}{d\eta} = f' = F \quad (14)$$

با نوشتن مجدد معادله 14 بر حسب f و انتگرال گیری از آن داریم:

$$\frac{v}{u_1} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{V}{xu_1}} (\eta f' - f) \quad (15)$$

سپس معادله مومنتم را در نظر بگیرید که می توان به صورت زیر نوشت:

$$\left(\frac{u}{u_1}\right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{u}{u_1}\right) \frac{\partial \eta}{\partial x} + \left(\frac{v}{u_1}\right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{u}{u_1}\right) \frac{\partial \eta}{\partial y} = \left(\frac{v}{u_1}\right) \frac{\partial^2}{\partial \eta^2} \left(\frac{u}{u_1}\right) \left(\frac{\partial \eta}{\partial y}\right)^2 \quad (16)$$

اما با توجه به معادله 15 :

$$\frac{u}{u_1} = f' \quad (17)$$

در نتیجه با استفاده از معادله 16 در معادله مومنتم این معادله به شکل زیر در می آید:

$$ff'' \left(-\frac{1}{2} \frac{y}{x} \sqrt{\frac{u_1}{xV}}\right) + \left[\frac{1}{2} \sqrt{\frac{V}{xu_1}} (\eta f' - f)\right] f'' \sqrt{\frac{u_1}{xV}} = \frac{V}{u_1} f''' \left(\frac{u_1}{xV}\right)$$

یعنی:

$$2ff''' + ff'' = 0 \quad (18)$$

علامت پریم مشتق نسبت به η را مشخص می کند یعنی معادله فوق را می توان به صورت زیر نوشت:

$$2 \frac{d^3 f}{d\eta^3} + f \frac{d^2 f}{d\eta^2} = 0$$



مسئله پیدا کردن پروفیل سرعت با استفاده از حل تشابهی به مسئله حل معادله دیفرانسیل ۱۹ کاهش یافت. برحسب توابع تشابهی، شرایط مرزی در معادله ۶ به صورت زیر در می آید:

۴-۲- بیان مساله

در این شبیه سازی دارای یک مکعب با مستطیل های درونش که به صورت مانع دار در نظر گرفته شده، و دمای ثابت ۱۵/۲۹۳ درجه کلوین و چگالی ثابت ۱۰۰۰، سرعت ثابت ۰.۱ متر بر ثانیه در ورودی شکل که جریان آرام در نظر گرفته شده است، در این حل عددی معادله های اساسی حاکم بر مکانیک سیالات، معادله پایداری جرم (پیوستگی) و معادله پایداری تکانه (یا همان معادلات ناویر - استوکس) می باشند. در این شبیه سازی عددی از معادلات انرژی، پیوستگی، مومنتوم در حل عددی جریان سیال کوپل می شود. اثر تنش، افزایش عدد رینولدز، اثر نانوسیال در تنش حرارتی منحنی شکل در شبیه سازی مورد نظر بررسی می شود. نتایج حاصل از آزمایشات انجام گرفته و خواص اندازه گیری شده، هر دو واحد گرمایش و سرمایش و با استفاده از نرم افزار کامسول مولتی فیزیک شبیه سازی شد. در هر دو روش تجزیه و تحلیل (مدلسازی ریاضی و شبیه سازی دینامیکی با نرم افزار کامسول مولتی فیزیک)، جهت تأیید صحت نتایج، محاسبه گردید.

۳- معرفی نرم افزار کامسول:

یک نرم افزار چند منظوره برای مدل سازی جریان سیال، انتقال حرارت و واکنش شیمیایی نوشته شده است. با توجه به محیط مناسب نرم افزار جهت تعریف مسئله و شرایط پیچیده، تعریف شرایط مرزی گوناگون و حل مسائل پیچیده شامل تأثیر پدیده های مختلف به کمک این نرم افزار



زار قابل حل هست. کامسول برای تحلیل مسائل خاص، روش های شبیه سازی کامپیوتری متفاوتی را بکار می برد و نرم افزار برای راحتی کار، تعریف مسئله، محاسبه و دیدن نتایج، منوهای مختلفی در نظر گرفته شده است. وقتی نیاز باشد کامسول میتواند مدل موردنظر را از دیگر نرم افزارهای تولید مدل که با آنها سازگاری دارد وارد کند. این نرم افزار امکان تغییر شبکه بندی به صورت کامل و تحلیل جریان با شبکه بندی های پیچیده را فراهم می سازد. نوع شبکه های قابل تولید و دریافت توسط این نرم افزار شامل شبکه های با المان های مثلثی و چهارضلعی (برای هندسه های دوبعدی) و چهاروجهی، شش وجهی، هرمی یا گوهایی (برای هندسه های سه بعدی) هست.

همچنین کامسول به کاربر اجازه دستکاری شبکه (مثلاً ریز کردن یا درشت کردن شبکه در مرز و مکان های لازم در هندسه) را می دهد. این نرم افزار قابلیت را در اختیار کاربر قرار میدهد که در نواحی که دارای گرادیان های بزرگ (مثل لایه مرزی و...) باشند، شبکه دقیق تری را ایجاد کند. این قابلیت ها مدت زمان تحلیل را به طور فراوان کاهش می دهد. در نتیجه این نرم افزار با استفاده از ساختار مناسب داده ها و اطلاعات، حافظه دینامیک و کنترل انعطافپذیر محاسبات را ممکن می سازد. این نرم افزار هم اکنون با نرم افزار متلب هم ارائه میگردد و با محیط های مختلف آن ارتباط دوسویه دارد.

هندسه: در این قسمت به وسیله ابزارهای موجود، هندسه کانال طراحی شد و هندسه مورد نظر قبل از شبکه بندی، در محیط ساختار هندسه از لحاظ داشتن نقص های احتمالی و کیفیت طراحی، کنترل شد. سپس هندسه ایجاد شده در قسمت Mesh، شبکه بندی شده و کیفیت شبکه بندی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه گزارش کنترل کیفیت هندسه و شبکه بندی آورده شده است. در قسمت بعد از اطلاعات بازبینی شده، از مدل Run گرفته می شود. در قسمت Result نتایج حاصل از تحلیل، برای بحث و نتیجه گیری قابل مشاهده است

۴-۴- مدل سازی عددی

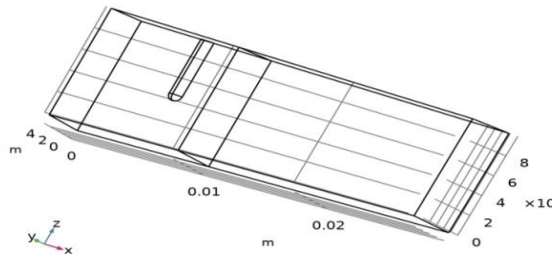
در این قسمت ابتدا هندسه ی دو بعدی مدل نرم افزاری ترسیم می شود. سپس به منظور آماده سازی برای حل عددی هندسه به شبکه های بسیار کوچک تقسیم می شود. بعد از تعیین شرایط



مرزي و تعيين جنس سيال و بدنه ي لوله و ساير پارامترهاي مورد نياز حل عددي در تکرارهاي متوالی تا همگرا شدن حل ادامه می یابد. در این قسمت اعتبارسنجی حل عددي و بررسی استقلال حل عددي از اندازه ي شبکه نیز بررسی می شود.

۴-۴-۱- هندسه

ترسیم هندسه پایه و اساس حل عددي است. بدین منظور ضروري است با دقت به ترسیم جزئیات و قسمت هاي متفاوت هندسه مورد نظر پرداخت. که در شکل ۴ - ۱ شماتیک آن رسم شده، از نرم افزار کامسول استفاده شده است. مشخصات هندسی مدل در جدول ۴ - ۱ درج شده است. محیط هاي سيال و جامد با کمک دستورات موجود در نرم افزار رسم می شود



شکل 4-1: شبیه سازی جریان دوفازی به همراه مانع

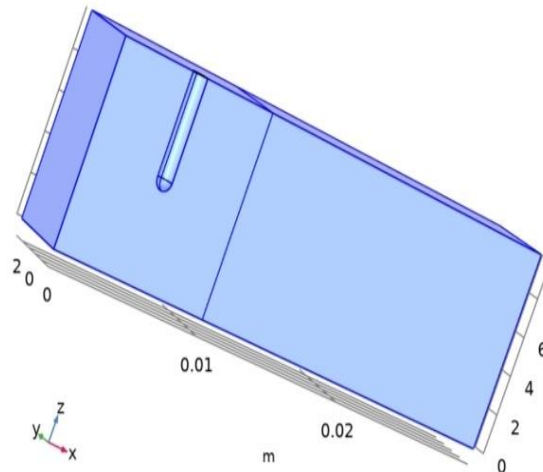
جدول 4-1 مشخصات هندسی جریان دوفازی به همراه مانع

آیتم موردنظر	اندازه (سانتی متر)
طول	27
عرض	متغیر
ضخامت	5
فاصله بین مانع و صفحه	0/4

4-4-2- مواد و جنس ها



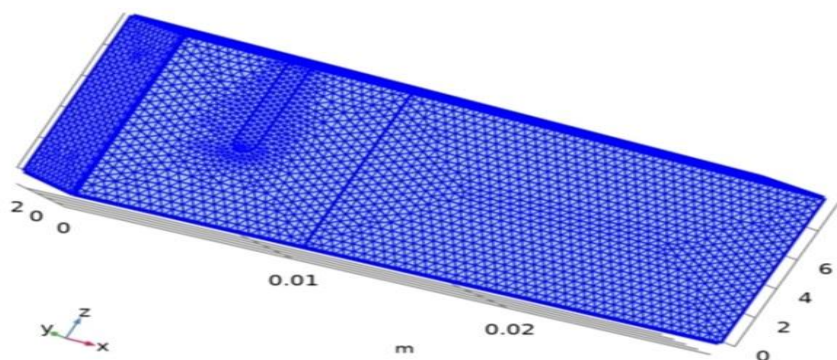
در این قسمت مواد و ویژگی های آنها بررسی می شود. مواد و جنس های مورد استفاده تعریف می شود. جنس لوله ها مس و سیال مورد استفاده برای خنک سازی آب تعریف می شود. از آنجا که در نرم افزار ویژگی های مواد ذکر نشده از مقادیر پیش فرض نرم افزار استفاده می کنیم. که در شکل ۲-۴ شبیه سازی عددی پیش رو مقادیر استفاده شده لحاظ شده است.



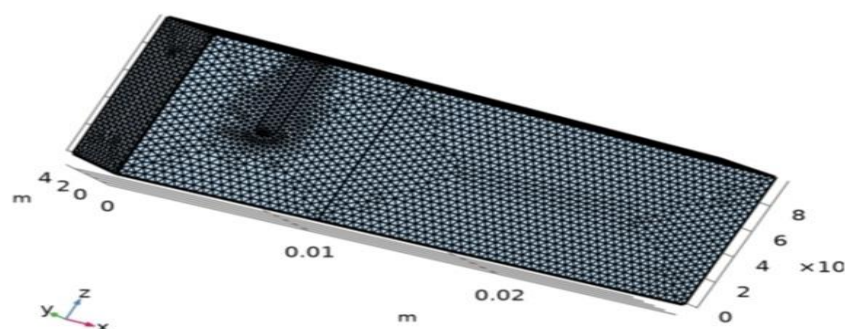
شکل ۲-۴: اعمال مواد و جنس ها

شبکه بندی

برای حل عددی مسائل لازم است محیط سیال و جامد شبکه بندی شود. بدین منظور هندسه به المان های کوچکتر تقسیم می شود. نوع و تعداد المان ها بر دقت و زمان و همگرایی حل عددی مؤثر است از این رو بایستی در شبکه بندی دقت لازم به عمل آید. برای شبکه بندی مسئله حاضر از نرم افزار کامسول استفاده می کنیم. نوع المان های مکعبی برای مسائل تحلیل سیالاتی مناسب تر است. یک نمونه از شبکه بندی های انجام شده را در شکل ۴-۴ نمایش داده شده است. تعداد و اندازه المان ها در قسمت استقلال حل از شبکه بحث خواهد شد.



شکل 3-4: نمایی از مش بندی محیط



نمایی از مش بندی ریز شده در قسمتی جریان دوفازی

شرایط مرزی 4-4-4

شرایط مرزی، متغیرهای حرارتی و جریان سیال را روی مرزهای دامنه محاسباتی را مشخص می کند. بنابراین تعیین شرایط مرزی یک موضوع حساس در شبیه سازی عددی جریان سیال بوده و تعریف مناسب آن از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. شرایط مرزی سطوح داخلی روی وجوه المان های داخلی تعریف میشود. با تعریف این نوع مرزها، ضخامت وجوه المان ها کم نبوده و پارامترهای جریان در قبل و بعد از وجوه المان ها با یکدیگر تفاوت چشم گیری دارد. از این نوع مرزها برای تحمیل شرایط فیزیکی متناظر با وسایلی نظیر فنها، نواحی متخلخل کم ضخامت و رادیاتورها استفاده میشود. البته شرط مرزی درونی از این قاعده مستثنا است. استفاده از شرط مرزی درونی بدین معناست که سطح انتخاب شده هیچگونه مانعی در جریان سیال نداشته و به واقع سطح انتخاب شده جزء مرز نیست .



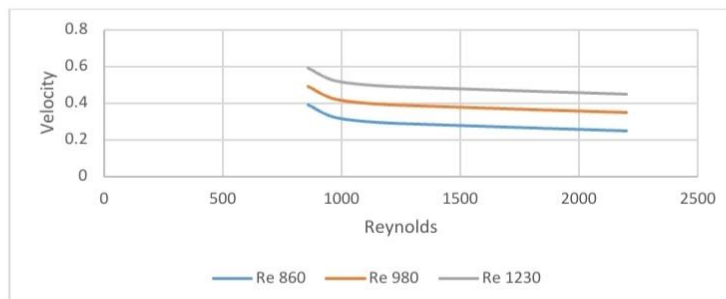
تحلیل نتایج -5-1

در این پژوهش در این شبیه سازی دارای یک مکعب با مستطیل های درونش که به صورت مانع دار در نظر گرفته شده ، و دمای ثابت ۱۵/۲۹۳ درجه کلوین و چگالی ثابت ۱۰۰۰، سرعت ثابت ۰.۱ متر بر ثانیه در ورودی شکل که جریان آرام در نظر گرفته شده است، در این حل عددی معادله های اساسی حاکم بر مکانیک سیالات، معادله پایداری جرم (پیوستگی) و معادله پایداری تکانه (یا همان معادلات ناویر - استوکس) می باشند. در این شبیه سازی عددی از معادلات انرژی ، پیوستگی، مومنتوم در حل عددی جریان سیال کوپل می شود. اثر تنش ، افزایش عدد رینولدز ، اثر نانوسیال در تنش حرارتی منحنی شکل در شبیه سازی مورد نظر بررسی می شود. و چون با افزودن مواد به سیال پایه خواص حرارتی و انتقالی آن به نسبت قابل توجهی افزایش می یابد، می توان گفت که با توجه به نتایج استخراج شده میتوان اثر فلزات آهن و آلومینیوم در فرآیندهای صنعتی متناوب با حفظ کارایی آن استفاده کرد. معادلات اساسی حاکم بر مسئله در روش ضمنی حجم محدود و به صورت مرتبه دوم بالا دست گسسته و به مجموعه ای از معادلات جبری تبدیل شده است و با استفاده از روش تکراری الگوریتم سیمپل چندین حل تا همگرایی لازم حاصل گردید از الگوریتم سیمپل در حل همزمان



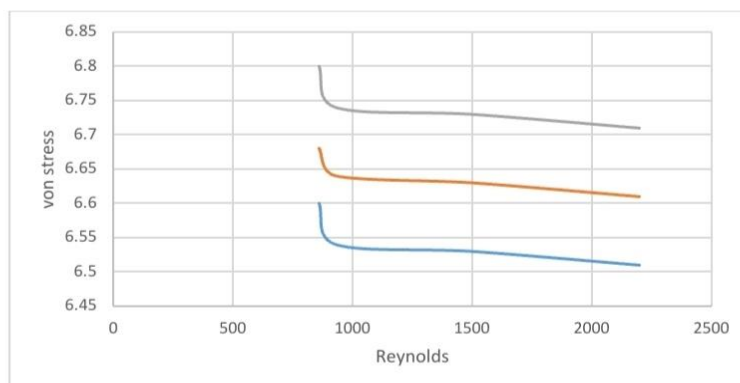
سرعت و فشار در جریان دائم و آرام دو بعدی استفاده شده است.

2-1-5 بررسی تاثیر تغییرات سرعت بدنه حرارتی دارای تنش در شار حرارتی ثابت



شکل 1-5-2 مقایسه تغییرات سرعت در شار حرارتی ثابت

در شکل 1-5-2 به بررسی و مقایسه تاثیر تغییرات سرعت در شار حرارتی ثابت پرداخته شده است که با برخورد به لایه شاهد افزایش تنش حرارتی هستیم



شکل 1-5-2 مقایسه تنش در بدنه حرارتی در درصد حجمی مختلف

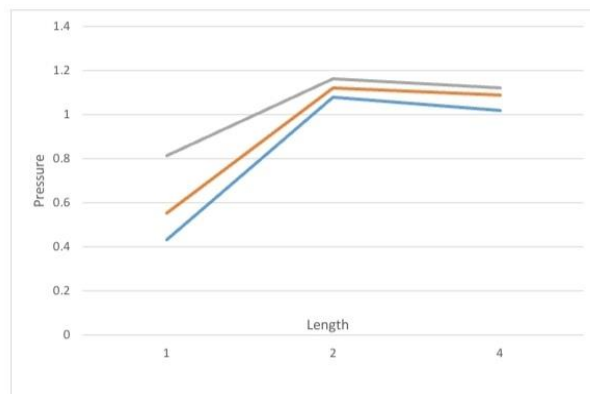
ابتدا آزمایش با ۲ عدد رینولدز مختلف ۹۳۰ – ۱۳۵۴ و مواد آب و نانو انجام شده استدر نتایج نشان داده شده که استفاده از فروسیال انتقال حرارت را بهبود می بخشد. علاوه بر این میتوان از نمودار این گونه استنباط کرد که در فاصله های کوتاه محوری از ورودی، افزایش انتقال حرارت نسبتا بهتر از فواصل بزرگتر است که دارای برهم زدگی لایه مرزی است. انتقال ذره ، گرادیان ، ویسکوزیته و حرکت براونی دلایلی هستند برای افزایش انتقال حرارت در سیال ، انتقال ذرات و اشفتگی در لایه مرزی حرارتی از مهمترین عوامل در بهبود انتقال حرارت هدایتی است. نتیجه افزایش در انتقال حرارت هدایتی .



مقایسه افزایش ضریب انتقال حرارت هدایتی برای جریان ارام، تحت شرایط مرزی شار ثابت با سیال عامل مقایسه شده است. نتایج در شکل ۵-۳ در بدنه حرارتی نشان داده شده است. تاثیر مواد باعث افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی شده که این نشان دهنده قابلیت بهبود انتقال حرارت توسط مواد نانوسیال و هوا است و این افزایش می یابد. جریان سیال که ارام انتخاب گردیده لایه مرزی حرارتی را بر هم زده و این امر باعث افزایش ضریب انتقال حرارت هدایتی جریان سیال شده است



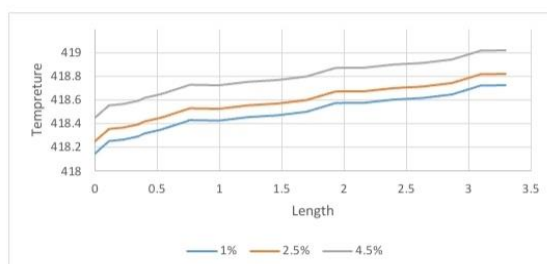
4-1-5 بررسی تغییرات فشار در وسط صفحه دارای تنش حرارتی



شکل 5-5 مقایسه تغییرات افت فشار تنش حرارتی در درصد حجمی های مختلف

در این قسمت به بررسی تغییرات گرادیان افت فشار براساس ضخامت / طول که نمودار عمودی نشانگر تغییرات فشار و نمودار افقی عدد رینولدز در لوله حرارتی نشان داده شده است و این امر به دلیل حرکت براونی از جمله دلایلی هستند که باعث تغییرات فشار در شکل 5-5 گردیده است.

5-1-5 بررسی تاثیر دما بدنه حرارتی بر روی ضریب انتقال حرارت هدایتی



شکل 5-5 مقایسه دما بدنه حرارتی بر روی ضریب انتقال حرارت

نتیجه گیری 2-



1- اثرافزایش ضریب انتقال حرارت هدایتی جریان دو فازي به همراه مانع، تحت شار حرارتی ثابت که در اطراف قرار داده شده است، جریان سیال که آرام انتخاب گردیده با حرکت در صفحه به همراه شار حرارتی ثابت، لایه مرزی حرارتی را بر هم زده و این امر باعث افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی جریان سیال شده است.

2- نتایج نشان می دهد که ایجاد مانع استوانه ای در داخل صفحه باعث افزایش اغتشاشات با جریان سیال هوا در امتداد عرضی شده که در نهایت با ایجاد یک اختلاط خوب در جریان سبب می شود که پروفیل دما تخت تر و ضخامت لایه مرزی حرارتی کاهش بیاید که این امر منجر به افزایش ضریب انتقال حرارت هدایتی می گردد.

3- تنش جریان های ثانویه و پیچشی را قوی تر ایجاد نموده و این امر باعث برهم زدن بهتر لایه مرزی حرارتی گردیده لذا گرادیان دما افزایش پیدا کرده است این امر باعث افزایش ضریب انتقال حرارت هدایتی میگردد که از مهمترین عوامل در بهبود انتقال حرارت هدایتی است.

منابع:

مقاله مکانیک بررسی عددی تأثیر ضریب هدایتی حرارتی مؤثر نانوسیال بر انتقال حرارت جابه جایی ترکیبی جریان آرام

https://journals.semnan.ac.ir/article_4002_9477818f10bfce4004462f244837b594.pdf

پایان نامه تعیین آزمایشگاهی ضریب انتقال حرارت برای جریان های دوفازی در لوله های افقی و مدل سازی آن با استفاده از شبکه های عصبی



مقاله انتقال حرارت جابه جایی اجباری تک فاز و دو فاز نانو سیالات در کانال متخلخل

https://modelling.semnan.ac.ir/article_1707_7155078c3958dad5717854b29ecd6f80.pdf

مقاله انتقال حرارت و جابه جایی از صفر تا صد سایت فرادرس

مجله مهندسی مکانیک و ارتعاشات مطالعه تجربی و آزمایشگاهی خواص ترموفیزیکی و بررسی ضریب انتقال حرارت جابجایی نانو سیال آب- هیدروکسید منیزیم تحت جریان مغشوش

کتاب “Heat Transfer: Principles and Applications”

مقاله “Experimental Study on Heat Transfer Coefficient in Two-Phase Flow