

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی انرژی
دانشکده فنی و مهندسی
پایان نامه دوره کارشناسی ارشد
مهندسی سیستم های انرژی - تکنولوژی انرژی

عنوان

استفاده از نانو سیالات هیبریدی در مبدل های حرارتی با به کارگیری نرم افزار فلوئنت

استاد راهنما:

دکتر یوسف یاسی

دکتر حیدر مداح

پژوهشگر:

رقیه پلنگی

تابستان ۱۳۹۶



تاریخ:

شماره:

تعه‌دنامه ی اصالت پایان نامه

اینجان‌ب رقیه پلنگی دانش آموخته ی مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته ی که تاریخ از پایان نامه خود تحت عنوان: استفاده از نانو سیالات هیبریدی در مبدل های حرارتی با به کارگیری نرم افزار فلوئنت با کسب نمره به عدد () و به حروف () و درجه ی دفاع نموده ام بدین وسیله متعهد می شوم:

(۱) این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجان‌ب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه - کتاب - مقاله و ...) استفاده نموده ام . مطابق ضوابط و رویه موجود نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده ام .

(۲) این پایان نامه / رساله قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح . پایین تر یا بالاتر- در سایر دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی ارایه نشده است .

(۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب ثبت اختراع و ... از پایان نامه داشتم باشم از حوزه ی معاونت پژوهشی واحد مجوز های مربوطه را اخذ نمایم .

(۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی : رقیه پلنگی

تاریخ و امضاء

تقدیم به :

تقدیم به پدر عزیزم که همیشه حامی و پشتیبانم بود و همواره به من درس مبحث
کوشش و تلاش آموخت.

تقدیم به مادر مهربانم او که با نگاهش سایه ساری از مهر بر سرم گسترانید و درس
گذشت و صبوری به من آموخت.

تقدیر و تشکر:

شایسته است از استاد و راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر یوسف یاسی و جناب آقای دکتر حیدر مداح که در به ثمر رساندن تحقیقات بنده دلسوزانه از هر کمکی دریغ نکردند، صمیمانه تشکر نمایم. علاوه بر توجیہات علمی ، منش ایشان بهترین الگوی اخلاقی من بود. امیدوارم در کلیه مراحل زندگی موفق و پیروز باشید.

چکیده

استفاده از نانو سیالات هیبریدی در مبدل‌های حرارتی با بکارگیری نرم افزار فلوئنت سیالات سنتی مورد استفاده در مبدل‌های حرارتی به طور عمده آب، اتیلن گلیکول و روغن هستند. عملکرد انتقال حرارت سیالات سنتی پایین است که همین امر موجب می شود راندامان بهبود انتقال حرارتی پایین بماند. به منظور ارتقای هدایت حرارتی سیال سنتی و مشخصات انتقال حرارت، ذرات جامد در ابعاد نانو در مایع پایه در مبدل های حرارتی به صورت معلق پراکنده میشود. افزودن ذرات در سیال پایه موجب بهبود هدایت حرارتی می شود زیرا هدایت حرارتی ذرات جامد فلز بالاتر از سیال پایه است. محققان به از مون سیالات انتقال حرارت جدید مهندسی شده توسط پراکنش ذرات نانو با قطر کمتر از صد نانومتر در سیال پایه تحت عنوان سیال نانو پرداخته اند. ضریب انتقال حرارت به واسطه افزایش هدایت حرارتی افزایش می یابد. در این مطالعه ابتدا هندسه سه بعدی یک مبدل واقعی موجود در صنعت در یک نرم افزار رسم سه بعدی ترسیم شده سپس به کمک نرم افزار گمبیت مش زده خواهد شد. فایل مش توسط نرم افزار ANSYS-FLUENT شبیه سازی سه بعدی خواهد شد به عبارت دیگر به کمک تکنیک دینامیک سیالات محاسباتی به شبیه سازی سه بعدی و آشفتگی جریان در داخل مبدل می پردازیم. سپس به بررسی و مقایسه میزان انتقال حرارت و افت فشار و همچنین ترسیم الگوی خط جریان برای چهار نوع نانو سیال مختلف نسبت به حالت پایه در یک مبدل پوسته لوله خواهیم پرداخت. نانو سیالهای مورد بررسی اکسید مس و اکسید سیلیسیم می باشند. متغیرهای مستقل شامل غلظت حجمی ذرات معلق و نوع ذره و متغیرهای وابسته شامل شار حرارتی میزان افت فشار ضریب انتقال حرارت کلی می باشد. اغلب مطالعات صورت گرفته مبنای آزمایشگاهی دارند مطالعه ای که بصورت عددی شبیه سازی سه بعدی مغشوش جریان نانو سیال را مورد بررسی قرار دهد به ندرت صورت گرفته است. در این مطالعه ما شبیه سازی را برای ۲ نوع نانو سیال مختلف در سه درصد حجمی مختلف نانو سیال شبیه سازی خواهیم کرد.

اضافه کردن نانو ذرات سبب بالا رفتن ضریب انتقال حرارت جابجایی شده و مساحت مورد نیاز مبدل را جهت انتقال میزان مشخصی از حرارت کم میکند. اضافه کردن ۱٪ حجمی نانوذرات افزایش نرخ انتقال حرارت به اندازه ۱۱ درصد می گردد. بمنظور شبیه سازی سه بعدی جریان نانو سیال از نرم افزار انسیس فلوئنت ورژن ۱۶ استفاده شد.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل ۱: کلیات پژوهش..... Error! Bookmark not defined.

۲	۱-۱- مقدمه.....
۳	۲-۱- اهمیت و ضرورت تحقیق.....
۵	۳-۱- بیان مساله.....
۵	۳-۱-۱- روش کار.....
۶	۴-۱- فرضیات حل مساله.....
۷	۵-۱- روش‌های افزایش انتقال حرارت.....
۷	۵-۱-۱- روش‌های فعال.....
۸	۵-۲- روش‌های غیرفعال.....
۹	۶-۱- نانو سیال.....
۱۱	۷-۱- مبدل حرارتی پوسته لوله.....
۱۴	۷-۱-۱- بهبود انتقال حرارت مبدل با کمک بافل.....
۱۵	۷-۱-۲- بافل عرضی.....
۱۹	۷-۲- مزایای مبدل‌های پوسته-لوله.....
۱۹	۷-۳- معایب مبدل‌های پوسته-لوله.....
۲۲	۸-۱- انواع مبدل‌های لوله و پوسته.....
۲۲	۸-۱-۱- مبدل‌های سر ثابت.....
۲۴	۸-۱-۲- مبدل‌های سر شناور.....
۲۵	۸-۱-۳- مبدل نوع T.....
۲۶	۸-۱-۴- مبدل نوع S.....
۲۷	۸-۱-۵- مبدل نوع W.....
۲۸	۸-۱-۶- مبدل نوع P.....
۲۹	۸-۱-۷- مبدل با لوله‌های U شکل.....

فصل ۲: مروری بر کار گذشتگان.....

۳۲	۱-۲- مقدمه.....
۳۲	۲-۲- مروری بر کار گذشتگان.....
۳۲	۲-۲-۱- نانو سیال.....
۳۳	۲-۲-۱-۱- خواص ترموفیزیکی نانوسیالات.....
۳۴	۲-۲-۱-۱-۱- چگالی.....
۳۴	۲-۲-۱-۱-۲- ویسکوزیته دینامیکی.....
۳۵	۲-۲-۱-۲- افزایش انتقال حرارت توسط نانوسیالات.....
۳۶	۲-۳- انتقال حرارت جابجایی اجباری.....

فصل ۳: دینامیک سیالات محاسباتی.....

۴۲

۴۳	۱-۳- مدلهای ریاضی و معادلات حاکم بر جریان نانوسیال.....
۴۳	۱-۱-۳- مدل تک فازي.....
۴۶	۲-۱-۳- مدل پخش تک فازي.....
۴۷	۲-۳- نحوه گسسته سازی معادلات در یک سلول مش فلوئنت.....

فصل ۴: مدل سازی..... ۵۲

۵۳	۱-۴- مقدمه.....
۵۵	۲-۴- هندسه مورد بررسی.....
۵۵	۳-۴- شبکه بندی هندسه.....
۵۵	۱-۳-۴- تولید شبکه و استراتژی های مختلف آن.....
۵۸	۴-۴- شرایط مرزی.....
۶۱	۵-۴- انتخاب مدل آشفتگی.....
۶۲	۶-۴- روش حل عددی.....
۶۵	۷-۴- مراحل گام به گام شبیه سازی فلوئنت.....

فصل ۵: نتیجه گیری..... ۷۴

۷۵	۱-۵- صحنه سنجی نتایج.....
۷۶	۲-۵- بررسی استقلال حل از شبکه محاسباتی.....
۷۸	۳-۵- نتایج.....
۷۸	۱-۳-۵- کانتور دما.....
۸۰	۲-۳-۵- کانتور فشار.....
۸۰	۳-۳-۵- بردارهای سرعت.....
۸۲	۴-۳-۵- خطوط جریان فشار.....
۸۳	۵-۳-۵- خطوط جریان دما.....
۸۷	۴-۵- بحث و نتیجه گیری.....
۸۸	۵-۵- بحث و بررسی.....

مراجع..... ۸۹

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲) ضرائب معادله.....	۳۵
جدول (۱-۳) متغیرهای معادله قانون بقا اسکالر (ϕ) (۴۳).....	۴۸
جدول (۲-۳) متغیرهای معادله قانون بقا اسکالر (ϕ)	۵۰
جدول (۱-۴) شرایط مرزی مورد استفاده در حل مسئله.....	۶۰
جدول (۲-۴) فهرست علائم و نشانه ها.....	۶۴
جدول (۱-۵) مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی شده در کار حاضر.....	۷۵
جدول (۲-۵) بررسی استقلال حل از شبکه محاسباتی.....	۷۷

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) شماتیکی از یک مبدل پوسته لوله.....	۶
شکل (۲-۱) سطوح زبر (۱).....	۹
شکل (۳-۱) مبدل حرارتی پوسته-لوله.....	۱۱
شکل (۴-۱) مبدل حرارتی پوسته لوله با اجزای آن.....	۱۲
شکل (۵-۱) مبدل حرارتی پوسته لوله با اجزای آن.....	۱۳
شکل (۶-۱) بافل ها (مغشوش کننده های جریان).....	۱۴
شکل (۷-۱) بافل عرضی.....	۱۵
شکل (۸-۱) جریان متقاطع ایجاد شده در بافل عرضی.....	۱۶
شکل (۹-۱) نحوه عبور سیال که وابسته به شکل و آرایش baffle window است.....	۱۶
شکل (۱۰-۱) مبدل حرارتی پوسته لوله تک مسیر.....	۱۷
شکل (۱۱-۱) مبدل حرارتی پوسته لوله دو مسیر.....	۱۸
شکل (۱۲-۱) مبدل پوسته لوله و اجزای آن.....	۱۸
شکل (۱۳-۱) مبدل پوسته لوله.....	۲۲
شکل (۱۴-۱) مبدل لوله پوسته نوع سر شناور.....	۲۴
شکل (۱۵-۱) مبدل لوله پوسته نوع سر شناور نوع T.....	۲۵
شکل (۱۶-۱) مبدل لوله پوسته نوع سر شناور نوع S.....	۲۶
شکل (۱۷-۱) مبدل لوله پوسته نوع سر شناور نوع W.....	۲۷
شکل (۱۸-۱) مبدل لوله پوسته نوع سر شناور نوع P.....	۲۸
شکل (۱۹-۱) مبدل U شکل.....	۲۹
شکل (۲۰-۱) مبدل پوسته-لوله از نوع U شکل.....	۳۰
شکل (۱-۳) از حجم کنترل بالا برای تشریح نحوه گسسته سازی معادلات انتقال یک اسکالر استفاده شده است. (شکل بالا دو سلول مش مجاور هم را نشان میدهد. یکی مثلثی و دیگری چهار ضلعی).....	۴۹
شکل (۲-۳) حجم کنترل یک بعدی با دو همسایه در شرق و غرب آن.....	۵۱
شکل (۱-۴) هندسه مورد بررسی بدون پوسته.....	۵۵

۵۷	شکل (۲-۴) هندسه مبدل بدون دیواره shell
۵۷	شکل (۳-۴) هندسه مبدل به همراه دیواره shell
۵۷	شکل (۴-۴) هندسه مبدل از نمای جانبی
	شکل (۵-۴) نمای ایزومتریک مبدل (همانطور که مشاهده میکنید شبکه های چهاروجهی در شکل قابل تشخیص است)
۵۸	
۶۴	شکل (۶-۴) انتخاب مدل آشفتگی $k - \epsilon$ در نرم افزار فلوئنت
۶۵	شکل (۷-۴) خواندن فایل خروجی مش در نرم افزار فلوئنت
۶۵	شکل (۸-۴) فضای هندسی سه یعدی داخل پوسته (tube bundle)
۶۶	شکل (۹-۴) بررسی مش تولیدی (مینیمم و ماکزیمم حجم سلول مش در این مرحله نمایش داده می شود)
۶۶	شکل (۱۰-۴) فعال کردن معادله انرژی از زیرمنوی model
۶۷	شکل (۱۱-۴) انتخاب مدل مغشوش $k - \epsilon$ (پارامترهای تنظیمی این مدل بصورت پیش فرض در نظر گرفته شدند)...
۶۷	شکل (۱۲-۴) از زیر منوی material نوع سیال و جنس بخش لوله های مبدل انتخاب میشود
۶۸	شکل (۱۳-۴) از زیر منوی boundary condition شرط مرزی عدم لغزش انتخاب می شود
۶۸	شکل (۱۴-۴) از زیر منوی boundary condition شرط مرزی حرارتی coupled انتخاب می شود
۶۹	شکل (۱۵-۴) مقدار دبی جرمی برای ورودی سمت پوسته برابر ۰,۵ کیلوگرم از منوی boundary condition
۶۹	شکل (۱۶-۴) انتخاب شرط مرزی حرارتی دما ۳۰۰ کلوین برای ورودی سمت پوسته
۷۰	شکل (۱۷-۴) انتخاب شرایط مرزی عدم لغزش برای جداره خارجی لوله به همراه زبری سطح
۷۰	شکل (۱۸-۴) انتخاب شرایط مرزی دما برای دسته لوله
	شکل (۱۹-۴) Solver حل از نوع simple گسسته سازی فشار از نوع استاندارد گسسته سازی مومنتوم و
۷۱	جرم first order upwind
۷۱	شکل (۲۰-۴) منوی solution control
۷۲	شکل (۲۱-۴) تنظیم مقادیر خطا برای همگرایی معادلات مومنتوم پیوستگی انرژی و k و ϵ
۷۲	شکل (۲۲-۴) initialize کردن حل
۷۳	شکل (۲۳-۴) run calculation
۷۹	شکل (۱-۵) کانتور دما در طول مبدل بخش پوسته
۸۰	شکل (۲-۵) کانتور فشار استاتیک در طول پوسته
۸۱	شکل (۳-۵) بردارهای سرعت در داخل پوسته از ورودی تا خروجی
۸۲	شکل (۴-۵) خطوط جریان فشار (کاهش فشار از محل ورودی به پوسته تا محل خروجی از پوسته)

شکل (۵-۵) طوط جریان فشار از نماي جانبي (كاهش فشار از محل ورودی به پوسته تا محل خروجی از

پوسته)..... ۸۲

شکل (۶-۵) خطوط جریان دما در طول پوسته..... ۸۳

فهرست نمودار ها

عنوان	صفحه
نمودار (۵ - ۱) مقدار افت فشار سیال خروجی برای ۴ اندازه مش مورد بررسی قرار گرفت برای شبکه با بیش از ۶۹۳۹۱۸ نود مقدار افت فشار تقریباً ثابت مانده و وابستگی به اندازه شبکه ندارد (استقلال حل از شبکه)..... ۷۷	
نمودار (۵ - ۲) خطای residual در حل معادلات پیوستگی، مومنتوم، انرژی و توربلانس..... ۸۴	
نمودار (۵ - ۳) انتقال حرارت سیال سمت پوسته با جداره لوله برای سه درصد نانو سیال اکسید آلومنیوم..... ۸۵	
نمودار (۵ - ۴) انتقال حرارت سیال سمت پوسته با جداره لوله برای سه درصد نانو سیال اکسید تیتانیوم..... ۸۵	
نمودار (۵ - ۵) انتقال حرارت سیال سمت پوسته با جداره لوله برای سه درصد نانو سیال اکسید مس..... ۸۶	
نمودار (۵ - ۶) انتقال حرارت سیال سمت پوسته با جداره لوله برای سه درصد نانو سیال اکسید سلیسیوم..... ۸۶	
نمودار (۵ - ۷) نمودار افت فشار مبدل برای سه نانو سیال با غلظت های مختلف..... ۸۷	

فصل ۱ :

کلیات پژوهش

۱-۱- مقدمه

در طی سال‌های اخیر به کمک کامپیوترهای سریع، مهندسين قادر به انجام محاسبات عددی قابل توجهی برای پیش‌بینی پدیده‌های مهندسی و بهبود فرآیند طراحی شده‌اند. استفاده از روش‌های عددی، یکی توانایی به پیش‌نمایش راه حل یک مشکل است که هنوز به مرحله آزمایش نرسیده است و دیگری برای بهبود نتایج تجربی موجود است. دینامیک سیالات محاسباتی^۱ (CFD) روشی استاندارد برای طراحی و تجزیه و تحلیل مسائل مرتبط مهندسی شامل پدیده‌های چندفیزیکی شده است.

تعداد زیادی از مطالعات برای حل مکانیک سیالات و مسائل انتقال حرارت مایعات معمولی که از قوانین پایه منتشر شده در متون پیروی می‌کنند، انجام شده‌اند و اغلب آن‌ها با نتایج تجربی همان مساله سازگار هستند. به هر حال با معرفی نانوسیال در حوزه مکانیک سیالات و انتقال حرارت، راه جدیدی همراه با منافع و چالش‌های آن ایجاد گردیده است. روش‌های بسیار همانند روش‌های مرسوم محاسباتی می‌تواند برای بکارگیری در صنایع مهندسی در ارتباط با نانوسیال اقتباس شود.

مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله به طور گسترده‌ای در بسیاری از بخش‌های صنعتی از جمله کارخانه های تولید برق و همچنین مواد شیمیایی، پتروشیمی و صنایع نفت و گاز استفاده

^۱ Computational Fluid Dynamics (CFD)

می‌شوند. طراحی با پیش بینی عملکرد این دستگاهها مبتنی بر اصول انتقال گرما می باشد. در این پروژه به کمک تکنیک دینامیک سیالات محاسباتی اختصاصا در مورد افزایش انتقال حرارت و میزان افت فشار مبدل‌های پوسته-لوله‌ای با اضافه کردن اکسیدهای فلزی در ابعاد نانو می‌پردازیم.

در مسئله بازده انتقال حرارت در تجهیزاتی نظیر مبدل‌های حرارتی هدایت حرارتی سیال حامل انرژی و ضریب انتقال حرارت نقش اساسی را بر عهده دارند. سیالات متداول در انتقال حرارت و حامل انرژی در صنایع را معمولاً "سیالاتی نظیر آب، روغنها و اتیلن گلیکول تشکیل میدهند. با افزایش رقابت جهانی در زمینه صنایع مختلف و نقش انرژی در هزینه تولید این صنایع به شدت به سمت توسعه سیالات پیشرفته و جدید با شاخصهای حرارتی بالا پیش می‌روند. به خوبی مشخص است که فلزات در شکل جامد خود دارای هدایت حرارتی بسیار بالایی نسبت به سیالات هستند. از طرفی هدایت حرارتی مواد فلزی نیز بسیار بیشتر از هدایت حرارتی مواد غیر فلزی است. در حالت کلی، بکارگیری نانو سیالات نسبت به سیالات معمولی سبب افزایش کارایی، کاهش حجم مبدل، کاهش هزینه های جاری و ساخت، کاهش مصرف آب می‌شود.

۱-۲- اهمیت و ضرورت تحقیق

توجه به صرفه‌جویی در مصرف مواد، فضا، انرژی و اقتصاد جهانی، منجر به گسترش تلاش‌هایی برای تولید تجهیزات مبدل‌های حرارتی پربازده‌تر در جهت کاهش هزینه‌ها شده است. نتیجه این تلاش‌ها کاهش ابعاد فیزیکی این تجهیزات برای یک ظرفیت حرارتی

مشخص می‌باشد. بنابراین اصلی‌ترین اهداف هیدرولیکی - حرارتی، کاهش ابعاد یک مبدل حرارتی مورد نیاز برای یک ظرفیت حرارتی مشخص، افزایش ظرفیت و عملکرد یک مبدل حرارتی موجود با اختلاف دمای کوچکتر یا کاهش قدرت پمپ می‌باشد^(۱)

مبدل‌های حرارتی در صنایع تولید برق، صنایع فرایندی، صنایع شیمیایی و غذایی، تجهیزات الکترونیکی، صنایع تولیدی، تهویه مطبوع، سرمایش و کاربردهای فضایی استفاده می‌شوند. در صنعت حمل و نقل، خنک‌کاری یک موضوع حیاتی است، زیرا که روند پیش رو در افزایش قدرت موتورها و یا خودروهای هیبرید، ناگزیر از بکارگیری رادیاتورهای بزرگ‌تر و در نتیجه سطح پیشانی^۱ بیشتر است که باعث افزایش نیروی پسا و مصرف سوخت بالاتر می‌گردد.

سرمایه گذاری بزرگ در طراحی و ساخت برخی از مبدل‌های حرارتی غالباً ایجاب میکند که پارامترهای مؤثر بر کارایی آنها به گونه ای صحیح و مناسب انتخاب گردند تا جوابی بهتر برای خواسته های طراحی موجود به دست آید محدود کردن ابعاد طول، ارتفاع، عرض یا دیگر پارامترهای طراحی یک مبدل حرارتی به سبب کاهش هزینه غالباً مهم است. زیرا علاوه بر سرمایه گذاری های اولیه، کاهش هزینه های بهره برداری و نگهداری مبدل را نیز در بر می گیرد.

^۱ Frontal area

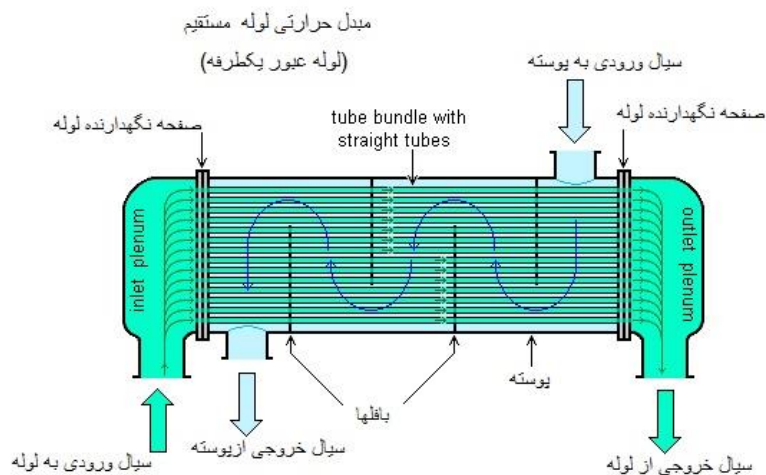
۱-۳- بیان مساله

در سال‌های اخیر مطالعات بر روی رفتار رئولوژیکی و انتقال حرارتی نانوسیالات به شدت رشد کرده و نتایج حاصل، پیشرفت‌های چشمگیری در این زمینه را نشان می‌دهد. این پژوهش به بررسی عددی انتقال حرارت و افت فشار جریان نانوسیال با سیال پایه آب و مخلوط نانوذرات اکسید آلومینیوم، اکسید مس، اکسید تیتانیوم و اکسید سیلیسیوم در سه غلظت مختلف می‌پردازد.

هندسه ی مبدل پوسته لوله در نرم افزار گمبیت ترسیم و مش زده میشود. سپس هندسه ی مش زده شده وارد محیط نرم افزار فلوئنت شده و تنظیمات لازم برای حل جریان مغشوش نانو سیال آب در داخل پوسته صورت می‌گیرد. میزان فلاکس حرارتی بین سمت تیوب و پوسته و همچنین ضریب انتقال حرارت کلی به کمک تکنیکهای دینامیک سیالات محاسباتی محاسبه خواهد شد. از دیگر پارامترهای مهم مورد بررسی میزان افت فشار مبدل خواهد بود که از حل فلوئنت بدست خواهد آمد.

۱-۳-۱- روش کار

در این نوشتار بطور خلاصه ابتدا به توضیح هندسه‌های مورد نظر پرداخته می‌شود. سپس معادلات حاکم بر جریان مغشوش، خواص نانوذرات، سیال پایه، روابط مورد استفاده و روش حل آورده خواهد شد. همچنین شبکه بندی هندسه، ارزیابی و بررسی حساسیت به شبکه بندی (استقلال حل از مش) ارائه می‌گردد. در پایان اعتبار سنجی نتایج با داده‌های موجود انجام می‌شود. در شکل زیر شماتیکی از یک مبدل حرارتی پوسته لوله آمده است.



شکل (۱-۱) شماتیکی از یک مبدل پوسته لوله (۲)

۴-۱- فرضیات حل مساله

در شبیه سازی جریان فرضیات زیر لحاظ شده است:

- جریان سیال از نوع پایا، سه بعدی و مغشوش می باشد.
- از مدل توربولانسی $K-\epsilon$ برای شبیه سازی جریان مغشوش استفاده کردیم.
- شرایط مرزی برای دسته تیوب دما ثابت فرض شده است (چگالش بخار در دسته تیوب)
- از مدل تک فازی هموژن برای شبیه سازی استفاده کردیم.
- چهار نوع نانو سیال مختلف در سه درصد حجمی مختلف مورد بررسی قرار گرفتند.
- مبدل حرارتی به خوبی عایق شده است.

- معادلات حل شده در فلوئنت شامل بقای جرم، ممتوم، حرارت، و معادلات

$K-\epsilon$ می باشد.

- معادلات به روش حجم کنترل در فلوئنت گسسته سازی میشوند.

۱-۵- روش های افزایش انتقال حرارت

مطابق دسته بندی کاکاش و همکاران^۱ (۱) و همچنین وب^۲ (۳) روش های مختلفی برای

افزایش انتقال حرارت وجود دارد که در سه گروه طبقه بندی می شوند:

الف) روش های فعال^۳ ب) روش های غیرفعال^۴ ج) روش های ترکیبی

در روش های فعال اعمال یک نیروی خارجی بر صفحه الزامی است (لرزش صفحه،

میدان صوتی یا الکتریکی)، در حالی که در روش های غیرفعال از هندسه های خاص صفحه یا

مواد افزودنی برای افزایش انتقال حرارت استفاده می شود.

۱-۵-۱- روش های فعال

در این روش برای افزایش انتقال حرارت نیاز به یک نیروی خارجی است. انواع

روش های فعال شامل روش های زیر می باشد:

تجهیزات کمکی مکانیکی: شامل به حرکت درآوردن مایع بوسیله تجهیزات مکانیکی یا

بوسیله چرخش سطح در مبدل های با لوله های چرخان می باشد.

^۱ Kakac et al

^۲ Webb

^۳ Active technique

^۴ Passive technique

ارتعاش سطح در فرکانس‌های بالا و پایین: به طور عمده برای افزایش انتقال حرارت جریان تک‌فاز به کار می‌رود.

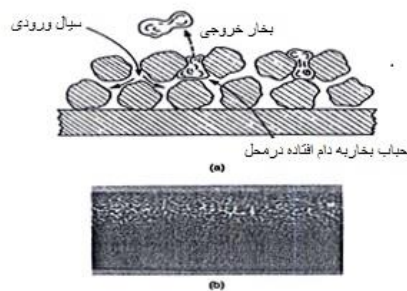
۱-۵-۲- روش‌های غیرفعال

این روش‌ها از طریق ایجاد اغتشاش در جریان و یا تغییر رژیم جریان بدون نیاز به نیروی خارجی، موجب افزایش انتقال حرارت می‌شوند که همواره با افت فشار همراه است. روش‌های غیرفعال شامل موارد زیر می‌باشند:

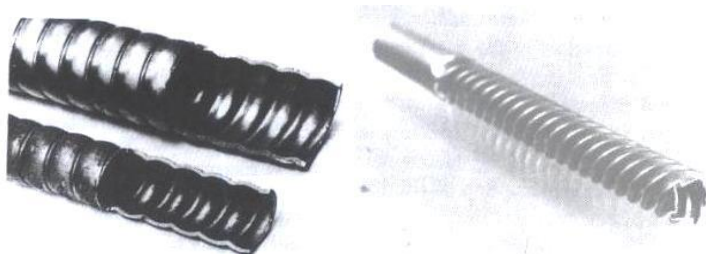
سطوح روکش‌شده یا اندودشده^۱: این سطوح دارای پوشش‌های فلزی مانند ذرات فلزی چسبیده به سطح یا پوشش‌های غیرفلزی مانند تفلون هستند. در نمونه‌های سطوح روکش‌شده یا اندودشده دیده می‌شود. ایجاد روکش ناصاف فلزی روی سطح و یا ایجاد حفره‌های مکانیکی باعث ایجاد مواضع تشکیل بخار روی سطح می‌شوند که بخار را داخل خود محبوس کرده به حباب تبدیل می‌کنند. افزایش مواضع تشکیل بخار روی سطح موجب افزایش جوشش هسته‌ای تا ۱۰ برابر حالت سطح صاف می‌گردد.

سطوح زبر: ساختار این زبری‌ها عموماً برای آشفتن زیرلایه لزج انتخاب می‌شود و هدف از استفاده از سطوح زبر افزایش سطح انتقال حرارت نمی‌باشد (شکل زیر). کاربرد صفحات زبر عمدتاً منحصر به جریان‌های تک‌فاز می‌شود.

^۱ Treated Surface



سطوح روکش شده یا اندود شده (۱)



شکل (۱-۲) سطوح زیر (۱)

۱-۶- نانو سیال

مفهوم نانو سیال، سوسپانسیون‌های حاوی ذرات نانو، مواد فلزی و غیر فلزی را شامل می شود. نانوسیالات پتانسیل های بسیار زیادی در محیط ها و شرایط متفاوت دارند که باعث شده اهمیت بسزایی در صنایع و تاسیسات داشته باشند. به عنوان مثال سیالات متداولی که در زمینه انتقال حرارت استفاده می شوند ضریب هدایت حرارتی پایینی دارند. ذرات نانو به دلیل بالا

بودن ضریب هدایتی شان با توزیع در سیال پایه باعث افزایش ضریب هدایت حرارتی سیال، که یکی از پارامترهای اساسی انتقال حرارت محسوب می‌شود، می‌گردند. در این فصل سعی بر این بوده است تا روش‌ها و کاربردهای گوناگون نانوسیالات به طور مختصر شرح داده شده و سپس به بررسی انواع نانو سیالات می‌پردازیم.

نانو سیالات که از توزیع ذرات با ابعاد نانو در سیالات معمولی حاصل می‌شوند، نسل جدیدی از سیالات با پتانسیل بسیار زیاد در کاربردهای صنعتی هستند. اندازه ذرات مورد استفاده در نانو سیالات از ۱ نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشد. این ذرات از جنس ذرات فلزی همچون مس، نقره و... و یا اکسید فلزی همچون آلومینیوم، اکسید مس و... هستند.

به علت اشکالات موجود در استفاده از سیالات سنتی و حتی میکرو سیال‌ها، از جمله رسوب یا ته نشینی ذرات^۱ سائیدگی^۲، مسدود نمودن لوله‌ها^۳، افزایش افت فشار در مجرای سیال محققان به نانو سیالات روی آوردند. نانو سیالات عموماً دارای هدایت گرمایی بالا هستند و به همین علت نرخ انتقال حرارت در آن‌ها بسیار زیاد است. نانوسیالات به وسیله پخش و منتشر کردن ذرات در اندازه‌های نانومتری در سیالات متداول متقل کننده گرما، به منظور افزایش هدایت گرمایی و بهبود عملکرد انتقال حرارت، ساخته می‌شوند. نتایج آزمایش‌هایی که در رابطه با نحوه انتقال حرارت بر روی چندین نمونه نانوسیال انجام شد، نشان می‌دهد که عملکرد نانوسیالات در انتقال حرارت عموماً بیشتر از آن چیزی است که به صورت نظری پیش‌بینی شده است.

^۱ Sedimentation

^۲ Erosion

^۳ fouling

۷-۱- مبدل حرارتی پوسته لوله

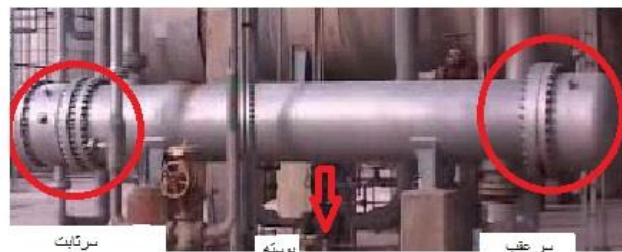
متداولترین و پرکاربردترین نوع مبدل‌های حرارتی که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد مبدل‌های حرارتی پوسته-لوله می‌باشد که برای کاربردهای مختلف و در اندازه‌های گوناگون طراحی و ساخته می‌شود. در این مبدل یک سیال در لوله‌ها جریان می‌یابد در حالیکه سیال دیگر درون پوسته و از روی لوله‌ها عبور می‌کند. جهت اطمینان از این که سیال درون پوسته از روی لوله‌ها می‌گذرد و در نتیجه انتقال حرارت بیشتری صورت می‌گیرد، موانعی در داخل پوسته قرار داده می‌شود.



شکل (۱-۳) مبدل حرارتی پوسته-لوله

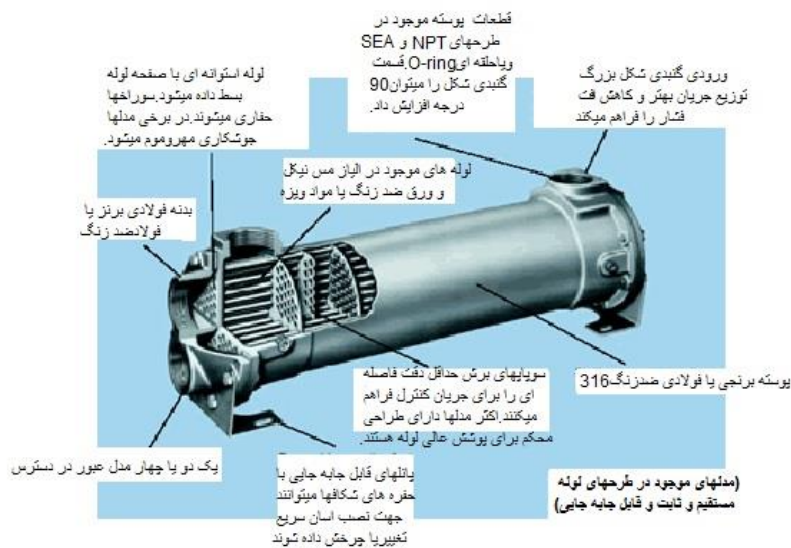
از این نوع مبدل‌ها به منظور تبخیر یک مایع یا کندانس کردن یک بخار و یا انتقال حرارت بین دو مایع استفاده می‌شود. اجزای تشکیل دهنده یک مبدل حرارتی لوله-پوسته عبارتند از:

لوله، صفحه لوله، پوسته، سر جلو، سر عقب و صفحات نگهدارنده (بافل‌ها)



شکل (۱-۴) مبدل حرارتی پوسته لوله با اجزای آن

این نوع از مبدل‌ها از تعداد زیادی لوله حاوی سیال که بخش خارجی آن با سیال دیگر در تماس می‌باشد تشکیل یافته و عمل انتقال حرارت از طریق سطح واسطه که همان بدنه یا جداره لوله است امکان می‌پذیرد پس باید جنس لوله‌ها به گونه‌ای انتخاب گردد که علاوه بر استقامت، رسانای خوب گرما نیز باشد.



شکل (۵-۱) مبدل حرارتی پوسته لوله با اجزای آن

مبدل‌های حرارتی موجود در صنایع و کارخانجات به خصوص صنعت پتروشیمی ، معمولاً از نوع پوسته و لوله می‌باشند. در مبدل‌های لوله‌پوسته معمولاً دو صفحه از جنس فلز در ابتدا و انتهای مبدل قرار می‌گیرد که به تعداد لوله‌های داخل مبدل بر روی این ورقه‌ها سوراخ ایجاد شده‌است و این لوله‌ها به صفحه لوله از طریق جوش یا به طریقه مکانیکی متصل شده‌اند .

دو سر مبدل یعنی سر جلویی و عقبی مبدل به گونه‌ای طراحی و ساخته می‌شود که سیال از یک سر مبدل وارد شده و به سمت ورودی لوله‌ها هدایت شود و پس از عبور از لوله‌ها وارد سر عقبی شده و در آنجا جمع‌آوری گردد. سیالی که از میان پوسته عبور می‌کند باید به گونه‌ای هدایت شود که در طی مسیر بیشترین تماس را با سطح خارجی لوله‌ها برقرار نماید و فرآیند انتقال حرارت به بهترین شکل صورت پذیرد. برای دستیابی به این هدف از قطعه‌ای به نام بافل استفاده می‌شود که در بخش بعدی توضیح داده می‌شود.

۱-۷-۱- بهبود انتقال حرارت مبدل با کمک بافل

مغشوش کننده ها (بافل ها) دو وظیفه دارند: مهمترین وظیفه اینکه، آنها لوله ها را در کل مجموعه و بهره برداری از آن، در محل مناسب ثابت نگاه می دارند و از ارتعاشات ناشی از گردابه های بوجود آمده توسط جریان روی لوله ها جلوگیری می کنند، و ثانیاً آنها جریان برگشتی سمت پوسته را هدایت کرده و در امتداد میدان لوله ها به پیش می رانند و همچنین سرعت و ضریب انتقال حرارت را افزایش می دهند.

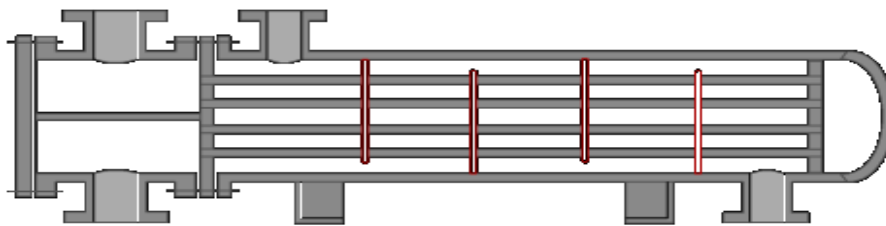


شکل (۱-۶) بافل ها (مغشوش کننده های جریان)

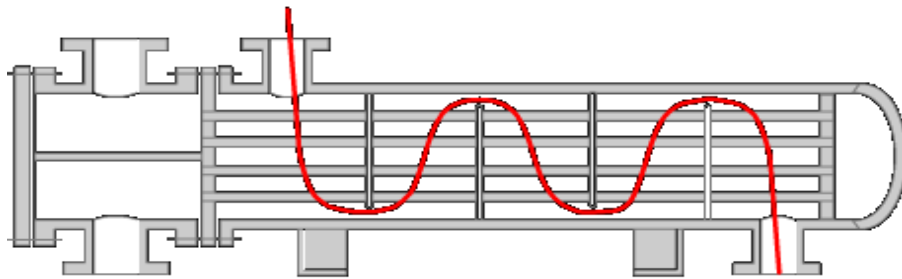
متداول ترین نوع مغشوش کننده، مغشوش کننده تک قسمتی است. قسمت بریده شده باید حداقل نصف قطر باشد تا از همپوشانی مغشوش کننده های مجاور حداقل یک ردیف لوله اطمینان حاصل شود. به منظور به حداقل رساندن کاهش فشار برای جریان مایع در پوسته، برش مغشوش کننده ۲۰ تا ۲۵ درصد قطر متداول است، برای جریان های گاز با فشار کم، برش ۴۰ تا ۴۵ درصد متداول است.

۱-۷-۱-۱- بافل عرضی

بافل‌های عرضی در ایجاد جریان متقاطع درون پوسته مبدل نقش دارند. جریان متقاطع در پوسته باعث می‌شود که تمام تیوب‌ها در فرآیند انتقال حرارت شرکت کنند و بدین ترتیب از ایجاد نقاط کور در مبدل جلوگیری می‌شود. علاوه بر این بافل‌های عرضی نقش ساپورت را نیز ایفا کرده و از ارتعاش لوله‌ها در شدت جریان‌های بالا جلوگیری می‌کنند. بافل عرضی از لحاظ آرایش به سه دسته تقسیم می‌شود. Single segmental یا تک قطاعی، double segmental یا دو قطاعی، tripe segmental یا سه قطاعی، نوع single قطاعی از یک دایره کامل است با ضخامت کم و سوراخ دار. تیوب‌ها از درون سوراخ‌ها رد شده و در جای خود محکم می‌شوند. بین تیوب‌ها و صفحه بفل فاصله کمی در نظر گرفته می‌شود که به آن baffel clearance می‌گویند.

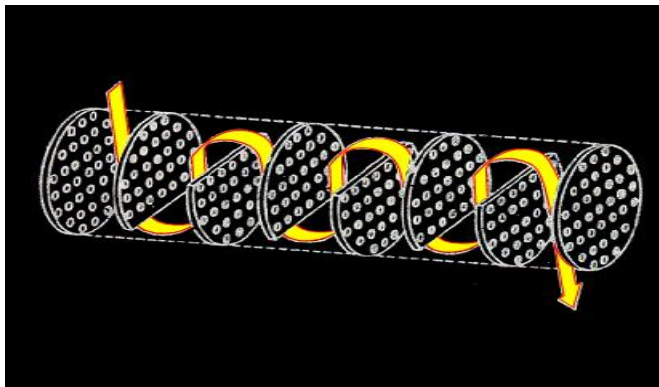


شکل (۱-۷) بافل عرضی



شکل (۸-۱) جریان متقاطع ایجاد شده در بافل عرضی

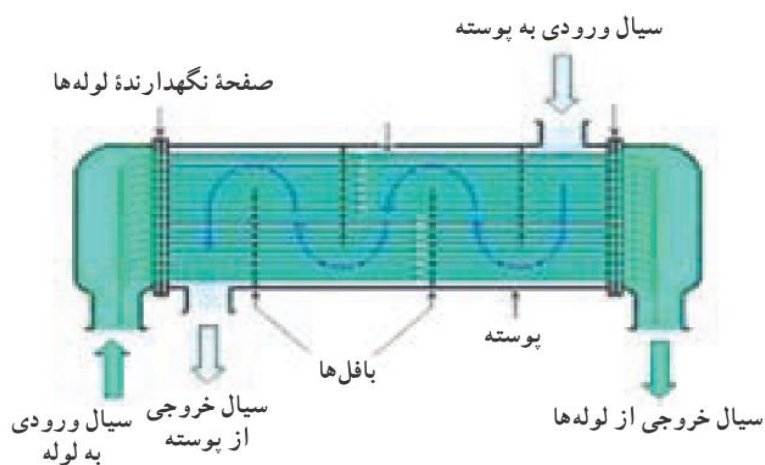
قسمتی که از دایره برش داده شده **baffle window** یا پنجره بافل نامیده می شود که محل عبور سیال داخل پوسته است. نحوه ی آرایش و قرارگیری **baffle window** در یک مدل شکل عبور جریان سیال سمت پوسته را مشخص می کند.



شکل (۹-۱) نحوه عبور سیال که وابسته به شکل و آرایش **baffle window** است.

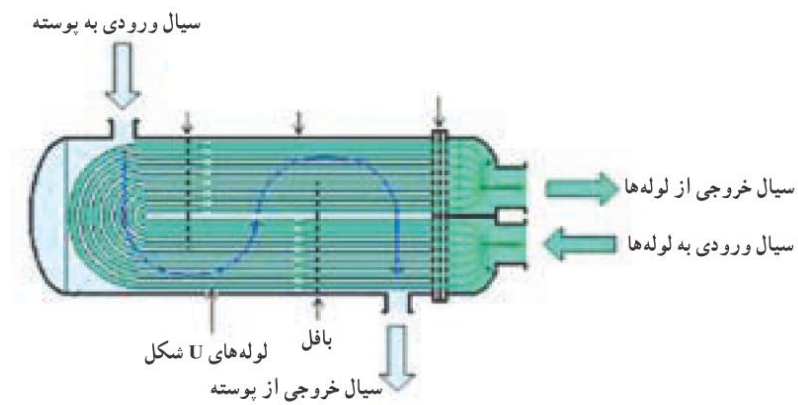
بافل ها به دو منظور در مبدل ها مورد استفاده قرار می گیرند ، هدایت سیال و نگهداشتن لوله ها برای جلوگیری از لرزش و جابجایی. با نصب بافل ها جریان عبوری سیال در پوسته

تقریباً عمود بر جریان عبوری سیال داخل لوله‌ها می‌شود که این امر موجب افزایش انتقال انرژی حرارتی و در نتیجه افزایش راندمان کار می‌گردد. در دبی‌های بالا، از مبدل حرارتی چند لوله‌ای یا لوله و پوسته استفاده می‌شود. در مبدل لوله و پوسته تک مسیره سیال درون لوله‌ها تنها یکبار طول لوله‌ها را طی کرده و از مبدل خارج می‌شود.



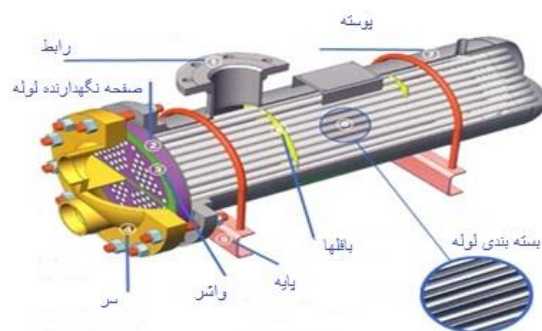
شکل (۱-۱۰) مبدل حرارتی پوسته لوله تک مسیره

در صورتیکه برای سیال درون لوله‌ها به تغییرات دمایی بیشتر نیاز باشد، باید زمان بیشتری را در مبدل طی کند و به این منظور لوله‌ها را به شکل U می‌سازند، زیرا با افزایش طول لوله‌ها بطور مستقیم، طول مبدل نیز افزایش می‌یابد که به علت اشغال فضای بیشتر، مطلوب نیست. در حقیقت مبدل حرارتی را دو مسیره می‌سازند.



شکل (۱-۱۱) مبدل حرارتی پوسته لوله دو مسیره

پوسته برای حفظ سیال روی لوله‌ها و آرایش جریان سیال است.



شکل (۱-۱۲) مبدل پوسته لوله و اجزای آن

۱-۷-۲- مزایای مبدل‌های پوسته-لوله

- قابلیت کاربرد در رنج وسیعی از دماها و فشارها
- در دسترس بودن روش‌های ساخت و گستردگی اطلاعات طراحی مکانیکی و حرارتی و استانداردهای موجود
- نگهداری آسان: شامل باز کردن، معاینه کردن، تعمیر کردن، تمیز کردن و توسعه دادن
- قابلیت ساخت از هر نوع فلز
- سطح تماس زیاد در حجم کم
- طرح مکانیکی خوب
- توزیع یکنواخت فشار

۱-۷-۳- معایب مبدل‌های پوسته-لوله

معایب مبدل‌های پوسته-لوله مرسوم را در سه بخش حرارتی، هیدرولیکی و عملیاتی می‌توان دسته‌بندی کرد. ضرایب انتقال حرارت حاصله ناشی از وجود جریان‌های برگشتی و اختلاط‌های جریان کم بوده و از اینرو انتقال حرارت به واحد سطح کم می‌باشد. در بخش هیدرولیکی مهمترین مبحث، افت فشار مبدل در سمت پوسته است که در ساختارهای مرسوم، افت و خیزهای مکرر جریان و انقباض و انبساط‌های و تغییرات ناگهانی مسیر جریان باعث افزایش افت فشار می‌گردد. لرزش دسته لوله و رسوب‌گذاری نیز از نکات حائز اهمیت در بخش مشکلات عملیاتی می‌باشد.

در واقع، رسوب گذاری و افت فشار بالا می‌توانند هزینه‌های زیادی را به فرآیندها تحمیل کنند. در دهه اخیر با توجه به افزایش قیمت انرژی، همواره سعی بر کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی مبدل‌های حرارتی پوسته-لوله بوده و در این راستا فناوری‌های جدید از جمله ابزارهای افزایش انتقال حرارت داخل لوله، مبدل با بافل‌های میله‌ای، مبدل‌های لوله پیچشی و... معرفی گردیده‌اند. اما این روش‌ها پاسخگوی نیاز به انتقال حرارت بالا در صنایع مختلف نیستند و علاوه بر آن سبب افزایش افت فشار می‌شوند. در نتیجه باید به روش‌های دیگری برای افزایش عملکرد حرارتی در این صنایع متوسل شد.

از طرفی دیگر، سیالات متداول در انتقال حرارت مانند آب، اتیلن گلیکول، روغن موتور و غیره نقشی حیاتی در فرآیندهای انتقال حرارت ایفاء می‌کنند. این سیالات به طور کلی دارای خواص انتقال حرارت ضعیفی در مقایسه با اکثر جامدات هستند و همین امر سبب ایجاد مشکلات فراوانی در طراحی مبدل‌های حرارتی و فشرده ساختن آنها شده است (۱). هدایت حرارتی ذرات جامد نظیر ذرات فلزی، چندین برابر مایعات متداول حامل انرژی است. براین اساس، ایده بهبود و افزایش هدایت حرارتی مایعات با افزودن ذرات جامد بسیار ریز شکل گرفته است. اگر سوسپانسیون‌های حاصل دارای ذرات میلی‌متری و میکرومتری باشند، مشکلاتی نظیر گرفتگی مجاری حرکت سیال، ته‌نشینی سریع و افت فشار بیش از حد ظاهر خواهد شد. در صورتی که اگر ذرات دارای اندازه نانومتری باشند، مشکلاتی نظیر موارد فوق بسیار کم‌رنگ خواهند گردید.

بنابراین با توجه به مشکلات انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی پوسته لوله، در این تحقیق ابتدا به بررسی انتقال حرارت توسط مبدل حرارتی پوسته و لوله پرداخته شده، سپس

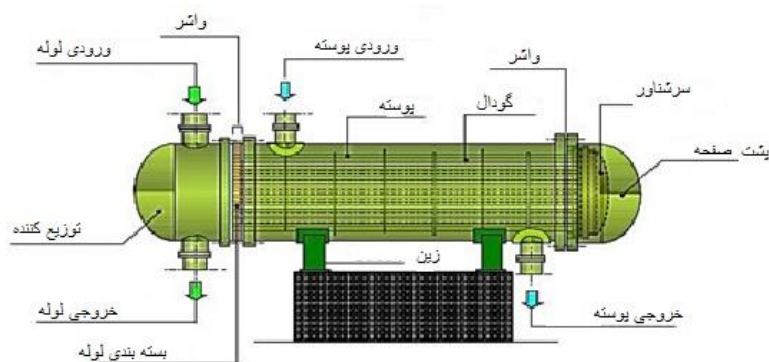
به عملکرد نانو سیال اکسید آلومینیوم در مبدل حرارتی پوسته لوله پرداخته شده و به دلیل دسترسی آسان و شرایط مناسب نانو سیال Al_2O_3 ، چگونگی انتقال حرارت و بازده این نانو سیال در وضعیت دینامیکی آن مورد بررسی و شبیه سازی قرار میگیرد. نتایج عددی نشان می دهند که در مقایسه با سیال پایه، استفاده از نانو سیال می تواند باعث افزایش انتقال حرارت شده و علاوه بر این، با کاهش قطر نانو سیال Al_2O_3 نیز موجب افزایش فشار سیال در مولد حرارتی پوسته می گردد.

با توجه به اهمیت فراوان فناوری نانو در خصوص افزایش شدت انتقال حرارت و یا کوتاه نمودن زمان انتقال حرارت در مبدل ها که توسط محققین در حال انجام گرفتن میباشد، پیشنهاد میشود، محققین پس از مطالعه و بررسی این تحقیقات در جهت طراحی بهینه مبدل- های حرارتی بپردازند.

۱-۸- انواع مبدل های لوله و پوسته

۱-۸-۱- مبدل های سر ثابت^۱

در مبدل های نوع سر ثابت، صفحه لوله ها به پوسته جوش یا به وسیله پیچ و مهره محکم شده است، لذا با تغییرات درجه حرارت جایی برای انبساط لوله و پوسته هر یک به طور جداگانه وجود ندارد.



شکل (۱-۱۳) مبدل پوسته لوله

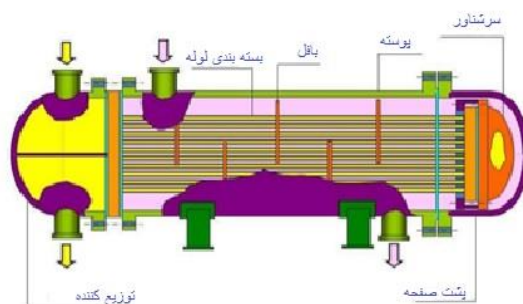
^۱ Fixed Tube Sheet Exchanger

این مبدل‌ها دارای rear head ثابت می‌باشند و در نتیجه هنگام نوسانات دمایی امکان افزایش و یا کاهش طول لوله وجود ندارد. بنابراین در فرآیندهایی که دمای سیال گرم یا سرد به طور قابل توجهی تغییر می‌کند. به دلیل عدم امکان افزایش یا کاهش طول لوله، این نوع مبدل استفاده نمی‌شود.

به عبارت دیگر اگر نوسانات دمای سیستم زیاد باشد، احتمال نشتی و ترک خوردن لوله‌ها در محل اتصال تیوب به تیوب شیت زیاد می‌شود. به منظور جلوگیری از رخ دادن این حالت، در این مبدل‌ها از اتصال انبساطی یا expansion joint استفاده می‌شود. هرچند اگر فشار زیاد و یا سیال خورنده باشد، دیگر نمی‌توان از این اتصال استفاده کرد. زیرا در فشارهای بالا تعداد نقاطی که دارای پتانسیل نشتی هستند، افزایش می‌یابد. اگر سیال بکار رفته در واحد رسوب‌زا باشد سیال رسوب‌زا را داخل لوله و سیال بدون رسوب را داخل پوسته می‌فرستند. در این مبدل به خاطر عدم وجود اتصالات داخلی مانند کاسه نم‌د و... احتمال نشتی کمتر می‌شود و همچنین چون اتصالات داخلی نداریم در فضای مربوطه به اتصالات نیز می‌توان لوله‌های بیشتری قرار داد. در نتیجه در قطر ثابت پوسته این نوع مبدل تعداد لوله‌های بیشتری خواهد داشت. از دیگر مزایای این مبدل تمیز کردن آن به روش مکانیکی است. انبساط یا انقباض هر یک از دو جزء فوق به تنهایی ممکن است موجب شکستن و یا خمیدگی لوله‌ها شود، لذا اختلاف درجه حرارت دو سیال که با هم تبادل حرارت می‌کنند نباید زیاد باشد.

۱-۸-۲- مبدل‌های سر شناور^۱

همانطور که از نام این مبدل‌ها مشخص است دارای rear head متحرک می‌باشند. بنابراین وقتی تغییرات دمایی خیلی زیاد باشد می‌توان از این مبدل‌ها استفاده کرد چرا که امکان انبساط و انقباض لوله‌ها در این نوع در نظر گرفته شده‌است. اما به علت وجود اتصالات داخلی تعداد لوله‌های کمتری نسبت به مبدل fixed tube sheet در آن قرار می‌گیرد. در این نوع مبدل، یکی از صفحه لوله‌ها بین کانال و پوسته پیچ و مهره شده و در وضعیت ثابتی قرار می‌گیرد، اما صفحه لوله دیگر در داخل پوسته به صورت شناور در آمده، امکان انبساط یا انقباض برای هر یک از دو جزء حامل سیال یعنی لوله و پوسته وجود دارد. از این رو اختلاف درجه حرارت دو سیالی که با هم تبادل حرارت می‌کنند هر چند که زیاد باشد اشکالی ایجاد نخواهد کرد.



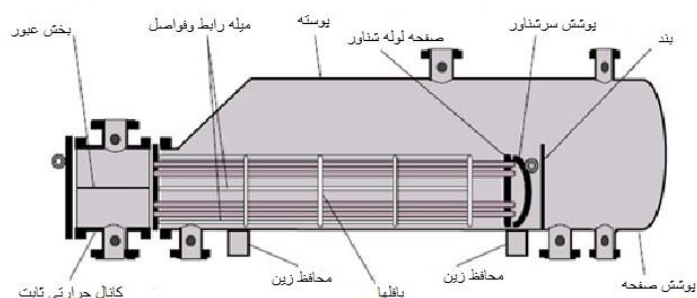
شکل (۱-۱۴) مبدل لوله پوسته نوع سر شناور

^۱ Floating Head Heat Exchanger

بعد از باز کردن صفحه ثابت، دسته لوله و سر شناور را می‌توان مانند واحد یکپارچه بیرون کشید. بدین طریق امکان تمیز کردن و بازرسی قسمت خارجی لوله‌ها میسر می‌گردد. ایراد این مبدل‌ها فاصله نسبتاً زیاد بین پوسته و لوله می‌باشد. این فاصله برای تطبیق دادن صفحه شناور لوله‌ها با پوسته می‌باشد. چون در این فضا نمی‌توان لوله‌ای به کار برد، این فضا بلااستفاده می‌ماند و بازده این مبدل‌ها کاهش می‌یابد. این مبدل‌ها به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

۱-۸-۳- مبدل نوع T^۱

که هد شناور در این مبدل مستقیماً به tube sheet پیچ شده‌است و این یکی از معایب این مبدل است زیرا این پیچ‌ها علاوه بر خطر نشتی، جریان نامطلوب ایجاد می‌کنند و به علت اتصالات، تعداد لوله‌ها نسبت به مبدل‌های U-type و fixed tube sheet کمتر است. از مزایای این مبدل این است که می‌توان برای تعمیر دسته لوله آن را از درون خارج کرد.

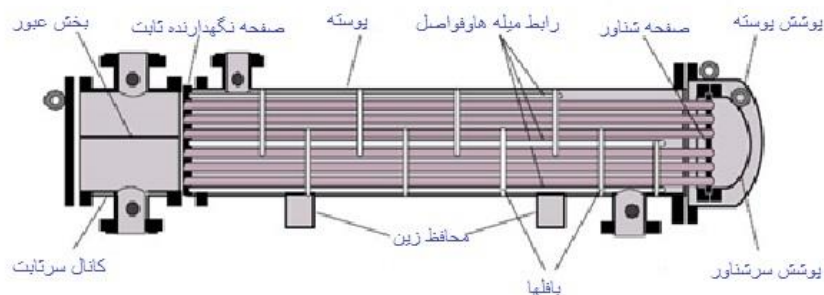


شکل (۱-۱۵) مبدل لوله پوسته نوع سر شناور نوع T

^۱ pull through floating head

۱-۸-۴- مبدل نوع S^۱

فضای مرده کمتری نسبت به مبدل نوع T دارد و در نتیجه تعداد لوله‌های بیشتری می‌توان در آن بکار برد. در مبدل نوع S فضای مفید بیشتری برای انتقال حرارت وجود دارد و با بکار بردن لوله‌های بیشتر می‌توان انتقال حرارت بهتری نسبت به مبدل نوع T داشت. یکی از معایب مبدل نوع S این است که نمی‌توان دسته لوله را از آن خارج کرد بنابراین با گرفتگی لوله‌های این مبدل‌ها باید آن‌ها را تعویض کرد. همچنین به علت هزینه ساخت بالا این نوع در صنعت کاربرد کمی دارد.

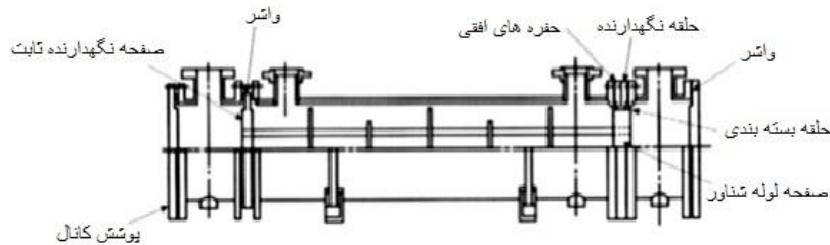


شکل (۱ - ۱۶) مبدل لوله پوسته نوع سر شناور نوع S

^۱ split backing ring

۱-۸-۵- مبدل نوع W

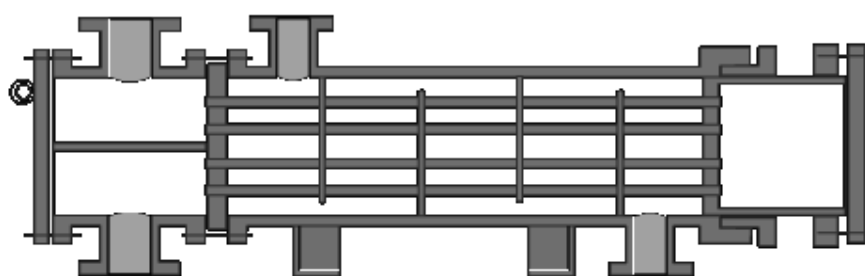
که در آن دو کاسه نمد وجود دارد، در نتیجه دارای محدودیت دمایی و فشاری برای قسمت‌های لوله و پوسته می‌باشد. این مبدل دارای cover ثابتی است. Tube sheet روی قسمت یاتاقان مانند، متحرک است و لذا فاصله بین cover و tube sheet متغیر بوده و باید از یک تا دو گذر لوله استفاده کرد. از معایب دیگر این مبدل این است که از آن در فشارها و ارتعاش‌های زیاد نمی‌توان استفاده کرد و ماکزیمم دمای عملیاتی بکار رفته در آن ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد است.



شکل (۱-۱۷) مبدل لوله پوسته نوع سر شناور نوع W

۱-۸-۶- مبدل نوع P

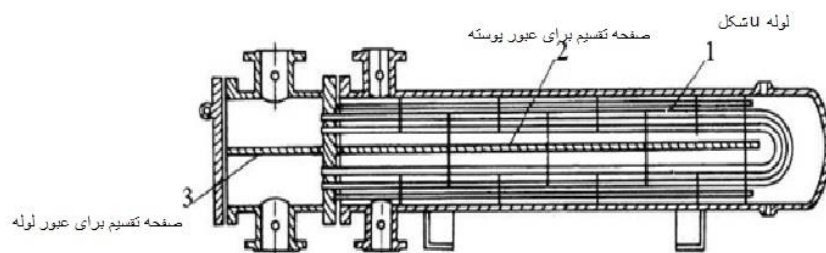
در این مبدل یک کاسه نمد وجود دارد که باعث محدودیت دمایی و فشاری برای سمت پوسته می‌شود. در این مبدل cover و tube sheet متحرک بوده و لذا فاصله ثابتی بین آنها وجود دارد. از مزیت‌های دیگر این مبدل نسبت به مبدل نوع W این است که در این مبدل دارای محدودیت تعداد گذر نمی‌باشیم.



شکل (۱-۸-۶) مبدل لوله پوسته نوع سر شناور نوع P

۱-۸-۷- مبدل با لوله‌های U شکل

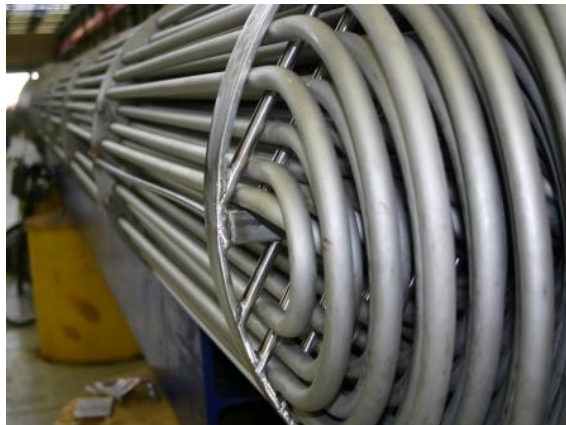
لوله‌ها در این مبدل به شکل U می‌باشند. بنابراین این مبدل برخلاف دیگر مبدل‌ها دارای یک tube sheet بوده و در نتیجه هزینه‌های ساخت این مبدل کمتر از مبدل‌های دیگر می‌شود. این مبدل بخاطر شکل لوله‌هایش دارای حداقل دو گذر می‌باشد و دسته لوله این مبدل نیز قابل تعویض است.



شکل (۱-۱۹) مبدل U شکل

همچنین بخاطر خم لوله‌ها امکان افزایش و یا کاهش طول لوله‌ها در اثر تغییرات دمایی وجود دارد. بعلت وجود عدم اتصالات داخلی امکان نشتی کاهش می‌یابد. در این مبدل فقط امکان تعویض لوله‌های محیطی وجود دارد و اگر لوله‌های داخلی سوراخ یا خراب شوند باید آن‌ها را مسدود یا به اصطلاح plug کنیم. در ضمن تعداد لوله‌ها در این مبدل بخاطر وجود خم انتهایی از مبدل fixed tube sheet کمتر است. توجه کنید ردیف‌های داخلی دته لوله بعلت خم شدگی بیشتر دارای ضخامت کمتری هستند و در نتیجه مقاومت آن‌ها در برابر فشار، دما، خوردگی و فرسایش کمتر است. برای همین ضخامت لوله‌های ردیف‌های داخلی بیشتر در نظر گرفته می‌شود. با توجه به سهولت ساخت این مبدل، در صنعت از آن بسیار استفاده می‌شود.

این نوع مبدل حرارتی شامل فقط یک کانال و یک صفحه لوله می‌باشد. از این رو ورودی و خروجی لوله‌ها از طریق یک کانال که به دو قسمت تقسیم شده‌است، صورت می‌گیرد. همانطور که از نام این مبدل حرارتی پیدا است لوله‌ها به شکل حرف لاتین U ساخته می‌شوند.



شکل (۱-۲۰) مبدل پوسته-لوله از نوع U شکل

با باز کردن پیچ و مهره‌ها، کانال از پوسته جدا می‌شود و صفحه لوله‌ها و دسته لوله‌ها را می‌توان از پوسته خارج نمود بطوریکه امکان تمیز کردن و بازرسی قسمت داخلی لوله‌ها می‌باشد. از طرفی نمی‌توان جریان‌های حاوی مواد جامد (کثیف) را به خاطر ایجاد ساییدگی در خم موجود در لوله‌ها استفاده کرد. این مبدل‌ها برای سیالاتی به کار می‌روند که اختلاف درجه حرارت زیادی داشته باشند، زیرا انتهای U شکل لوله‌ها، امکان انبساط و انقباض را تا حد زیادی به وجود می‌آورند.

فصل ۲:

مروری بر کار گذشتگان

۲-۱- مقدمه

۲-۲- مروری بر کار گذشتگان

۲-۲-۱- نانو سیال

با پیشرفت علم، تولید نانو ذرات از مواد گوناگون میسر شده است. یکی از خصایص مواد در ابعاد نانو، نسبت سطح به حجم بالای آنهاست که توانایی‌های خاصی به آنها بخشیده است. نانوسیالات به عنوان دسته مهیج جدیدی از فناوری نانو پدیدار شده‌اند که بر پایه سیالات انتقال حرارت می‌باشند و در چند سال گذشته به طور فوق‌العاده‌ای رشد کرده‌اند. دانشمندان و مهندسان سعی بر این دارند تا قوانین حاکم بر خواص ترموفیزیکی این سیالات را کشف کنند، لذا سازوکارهای جدید پیشنهاد کرده و مدل‌های غیر معمولی را برای توضیح این رفتارها ارائه می‌دهند.

نانوسیال عبارتی است که توسط چوی (۴) به نوع جدیدی از سیال انتقال حرارت که شامل مقدار کمی از نانو ذرات فلزی یا غیرفلزی بود، اطلاق شد. این ذرات به صورت همگن و پایدار در فاز پیوسته‌ای پراکنده شده بودند. تحقیق و توسعه ابتدایی فناوری نانوسیال، پتانسیل بالای نانوسیالات را برای کاربرد در انتقال حرارت نشان داد و منجر به این شد که هم صنعت و هم دانشگاه‌های سراسر جهان تلاش‌هایی را در خصوص پژوهش در این راستا انجام دهند. اندازه

میانگین ذرات بکار رفته در نانوسیالات ممکن است از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر متغیر باشد. فهم کامل رفتارهای انبوهشی و رئولوژیکی^۱ نانوسیالات برای محققین نانوسیال بسیار مهم است. از این رو در این قسمت به بررسی تحقیقات گذشته در خصوص خواص ترموفیزیکی نانوسیالات می‌پردازیم. تعدادی از نانومواد و سیالات پایه به شرح ذیل اند:

انواع نانومواد: نانوذرات مورد استفاده در نانوسیالات از مواد مختلفی ساخته می‌شوند، مانند: اکسیدهای سرامیکی (CuO و Al_2O_3)، اکسیدهای نیتريدی (SiN و AlN)، سرامیک-های کربیدی (TiC و SiC)، فلزات (Au ، Ag و Cu)، نیمه رساناها (SiC و TiO_2)، ترکیبات کربنی (نانولوله‌های کربنی، الماس و گرافیت) و مواد کامپوزیتی مثل نانوذرات آلیاژی $\text{Al}_x\text{Cu}_{3-x}$.

انواع سیالات پایه: انواع مختلفی از مایعات نیز بعنوان سیال میزبان بکار گرفته می‌شوند، مانند: آب، اتیلن گلیکول، روغن موتور، سیالات زیستی^۲ و محلول های پلیمری.

۲-۲-۱-۱- خواص ترموفیزیکی نانوسیالات

هدایت حرارتی نانوسیالات توجه اصلی در نانوسیال را به خود اختصاص داده است. هرچند برای سیالات ساکن این مهمترین موضوع است ولی با در نظر گرفتن سیالات انتقال حرارت، ضریب انتقال حرارت نانوسیال در جریان مهمترین موضوع می‌باشد. دیگر خواص مهم غیر از هدایت حرارتی که بر ضریب انتقال حرارت اثر می‌گذارد، عبارتند از: چگالی، گرمای ویژه و لزجت نانوسیال. با فرض پراکندگی یکنواخت نانوذرات داخل سیال پایه،

^۱ Rheological

^۲ Bio Fluids

خواص حرارتی و فیزیکی نانوسیال به صورت زیر هستند.

۲-۲-۱-۱-۱-چگالی

چگالی نانوسیالات را معمولاً از رابطه‌ی پک و چو^۱ (۵) محاسبه می‌کنند.

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_{bf} + \varphi\rho_p \quad (۱-۲)$$

تمامی محققین روی استفاده از قانون مخلوط‌ها برای محاسبه چگالی نانوسیال اجماع نظر دارند. خانافر و وفایی^۲ (۶) براساس اطلاعات آزمایشگاهی هو و همکاران^۳ (۷)، رابطه‌ای برای محاسبه‌ی چگالی نانوسیال آب/اکسیدآلومینیوم به صورت زیر ارائه کردند.

$$\rho_{nf} = 1001.064 - 2738.6191\varphi - 0.2095T \quad (۲-۲)$$

که غلظت و دما در محدوده $0 \leq \varphi \leq 4\%$ و $5 \leq T(^{\circ}\text{C}) \leq 40$ است.

۲-۲-۱-۱-۲-ویسکوزیته^۴ دینامیکی

گرانروی اندازه‌ی مقاومت یک سیال در برابر تغییرشکل ناشی از تنش‌های طولی یا تنش-های برشی می‌باشد. به علت ساختار سوسپانسیونی نانوسیالات گرانروی اهمیت ویژه‌ای در طراحی سیستم‌های نانوسیالی بازی می‌کند به طوری که اثرات مستقیم آن بر افت فشار در جریان‌های جابجایی بسیار مشهود است. بنابراین برای استفاده از نانوسیالات در کاربردهای عملی، مقدار افزایش گرانروی نانوسیالات نسبت به سیال پایه آن باید به طور کامل مورد

^۱ Pak and Cho

^۲ Khanafer and vafai

^۳ Ho et al

^۴ Viscosity

بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

واجها و همکاران^۱ (۸) رابطه‌ی زیر را برای محاسبه‌ی ویسکوزیته‌ی دینامیکی نانوسیال ارائه کردند. مقادیر A_1 و A_2 در جدول زیر آورده شده است. مشاهده می‌شود که در این رابطه μ_{bf} اثر دما روی ویسکوزیته را شامل می‌شود، بنابراین هیچ عبارت اضافی شامل دما نیاز نیست. این رابطه در محدوده‌ی دمایی $273K < T < 363K$ معتبر است.

$$\mu_{bf} = \mu_{bf} A_1 e^{(A_2 \varphi)} \quad (2-3)$$

جدول (۱-۲) ضرائب معادله

غلظت (%)	متوسط اندازه ذره (nm)	A_2	A_1	نانوذره
$0 \leq \varphi \leq 10$	۴۵	۱۲/۹۵۹	۰/۹۸۳	اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)
$0 \leq \varphi \leq 6$	۲۹	۲۲/۸۵۳۹	۰/۹۱۹۷	اکسید مس (CuO)

۲-۲-۱-۲- افزایش انتقال حرارت توسط نانوسیالات

نانوسیالات به دلیل هدایت حرارتی بالایی که دارند سیالات انتقال حرارت نوید بخشی جهت کاربرد به جای سیالات گرمایی هستند. نانوسیالات هدایت حرارتی و ضریب انتقال حرارت تک‌فاز بالاتری نسبت به سیال پایه دارند. چون افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی فراتر از اثر هدایت حرارتی محض است با روابط متداول سیال خالص قابل پیش‌بینی نیست. برای رسیدن به این هدف مهم، محققین بسیاری در مورد عملکرد انتقال حرارت جابجایی نانوسیالات بحث کرده و آن را مورد بررسی و ارزیابی قرار داده‌اند. در تمامی مطالعات انجام شده، به این نتیجه رسیده‌اند که عدد ناسلت جریان جابجایی به دست آمده به صورت تابعی از

^۱ Vajjha et al

عوامل گوناگون می باشد که به صورت زیر می توان نوشت.

(۴-۲)

$$Nu = f(Re, Pr, \frac{k_p}{k_{bf}}, \frac{(\rho C_p)_p}{(\rho C_p)_{bf}}),$$

۲-۳- انتقال حرارت جابجایی اجباری

لطفی و همکاران (۹) در سال ۲۰۱۰ به صورت عددی به بررسی انتقال حرارت جابجایی اجباری نانوسیال با دو مدل تک فاز^۱ و دو فاز^۲ در جریان آرام و مغشوش پرداختند. نانوسیال آب/اکسید آلومینیوم را داخل یک لوله ی افقی عبور دادند. نتایج را با روابط موجود مقایسه و اعتبار سنجی کردند. نتایج هر دو مدل را نیز مقایسه کردند. با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مدل ها مشخص شد که مدل مخلوط دقیق تر است. هر دو مدل عدد ناسلت را کم تخمین می زنند. نتایج آن ها نشان داد نرخ بهبود حرارت با افزایش غلظت حجمی^۳ نانوذرات کاهش می یابد.

سیالات ساخته شده با استفاده از روش های مهندسی که از یک سیال پایه (زمینه) و نانوذراتی نظیر CuO, Al₂O₃ یا TiO₂(۱۰) ساخته شده اند و یک سوسپانسیون کلوئیدی را شکل می دهند، نانوسیالات نامیده می شوند (۱۱). به دلیل استفاده زیاد از آب و اتیلن گلیکول در

^۱ Single-phase model

^۲ Two-phase model

^۳ Volume concentration

سیستم‌های حرارتی این سیالات پر استفاده ترین سیالات پایه محسوب می‌شوند. بالاتر بودن رسانایی گرمایی اندازه‌گیری شده در نانوسیالات نسبت به پیش‌بینی‌های مبتنی بر تئوری محیط موثر ماکسول باعث شده که بسیاری از محققان، نانوسیالات را به عنوان نسل بعدی سیالات مورد استفاده برای انتقال حرارت در نظر بگیرند (۱۲). از این رو نانوسیالات برای کاربردهای مهندسی فراوانی نظیر خنک‌کاری سیستم‌های الکترونیکی (۱۳ و ۱۴)، مدیریت گرمایی وسایل نقلیه (۱۵) و سیستم‌های مبتنی بر انرژی خورشیدی (۱۶ و ۱۷) مورد استفاده قرار می‌گیرند. طراحی و تحلیل چنین سیستم‌هایی نیازمند پیش‌بینی دقیق خصوصیات هیدرودینامیکی و گرمایی نانوسیالات است.

مطالعات آزمایشگاهی فراوانی به منظور تعیین خصوصیات گرمایی و جریانی نانوسیالات تحت شرایط جریان آرام و جریان درهم انجام گرفته‌اند (۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲). با این وجود، توانایی مدل کردن دقیق جریان نانوسیال به منظور طراحی تجهیزات که با نانوسیال کار می‌کنند از اهمیت به سزایی برخوردار است. مشاهده شده که اضافه کردن نانوذرات به یک سیال پایه باعث افزایش توأم انتقال حرارت جابه‌جایی و افت فشار ناشی از افزایش رسانش گرمایی و لزجیت می‌شود به همین سبب ابزارهای مدل‌سازی باید بتوانند این دو رفتار را به درستی تخمین بزنند.

مدل‌های موجود برای جریان و انتقال حرارت در نانوسیالات را می‌توان به دو گروه مدل‌های تک‌فازی و دوفازی دسته‌بندی کرد (۲۳). در رویکرد تک‌فازی، نانوذرات و سیال پایه با توجه به خواص موثر آن به عنوان یک سیال هموزن در نظر گرفته می‌شوند حل معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی برای سیال هموزن با خواص تغییر یافته صورت

می‌گیرد (۲۴). رویکردهای دوفازی با استفاده از سه روش مختلف معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی را برای ذرات و سیال پایه مورد بررسی قرار می‌دهند. یکی از این روش‌ها مدل اولری- ترکیبی (EMM) است که در آن معادلات مومنتوم و انرژی برای فاز ترکیبی به صورت کوپل با معادله پیوستگی هر یک از فازها حل می‌شوند و سپس سرعت هر یک از فازها توسط روابط تجربی تعیین می‌شوند (۲۵ و ۲۶). روش دوم مدل اولری-اولری (EEM) است که معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی به صورت مجزا برای هر فاز حل می‌شوند. این رویکرد برای جریان‌هایی که برهم‌کنش بین فازهای آن به خوبی مشخص نیست پیشنهاد داده شده است (۲۷). هر چند که مدل‌های جریان دوفازی موجب درک بهتر هر دو فاز می‌شوند، مدل‌های تک فازی از نظر محاسباتی کارآمدتر هستند.

جابه‌جایی اجباری نانوسیالات Al_2O_3 -water/EG در یک مبدل که صورت یکنواخت گرم می‌شود، تحت رژیم‌های جریانی آرام و درهم و توسط مدل تک‌فازی هموزن توسط مایگا و همکارانش مورد مطالعه قرار گرفته است. در حالی که پیش‌بینی آنها ضرایب انتقال حرارت را کمتر از حد واقعی تعیین می‌کند نتایج نشان می‌دهند که افزودن نانوذرات ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی نانوسیال Al_2O_3 -water را در رینولدز ۲۵۰ تا ۶۰٪ بهبود می‌بخشد (برای حالتی که ۱۰٪ غلظت نانوسیال نانوذرات باشند) مطالعات آزمایشگاهی نظیر (۲۸) گزارش داده‌اند که افزایش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی در مقایسه با افزایش ضریب رسانش گرمایی موثر بیشتر است. این امر نشان می‌دهد که مکانیزم‌هایی که باعث افزایش انتقال حرارت به روش جابه‌جایی اجباری هستند با رسانش گرمایی تفاوت دارند. مدل‌های پخش گرمایی تک‌فاز که انتقال انرژی توسط حرکت تصادفی نانوذرات (اثر پخش

گرمایی) را در نظر می‌گیرند در مراجع (۲۹) و (۳۰) معرفی شده‌اند. با استفاده از مدل پخش گرمایی که در این مراجع معرفی شده اوزینک و همکارانش (۳۱) جابه‌جایی اجباری جریان آرام کاملاً توسعه یافته نانوسیال Al_2O_3 -water را با در نظرگیری وابستگی دمایی خواص بررسی کردند. افزایش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی گزارش شده برای نانوسیال Al_2O_3 -water ۲,۵٪ در عدد پکلت ۶۵۰۰ برابر با ۳۶٪ است. نتایج مطابقت خوبی با داده‌های آزمایشگاهی موجود در سایر مراجع دارند و می‌توان چنین استنباط کرد که مدل‌های تک‌فازی که پخش گرمایی و وابستگی دمایی خواص را در نظر می‌گیرند رفتار انتقال حرارتی را دقیق‌تر پیش‌بینی می‌کنند. مروجی و همکارانش (۳۲) ضمن مدل‌سازی جریان نانوسیال Al_2O_3 -water در حال توسعه به کمک مدل‌های تک‌فاز، نشان دادند هر چه اندازه نانوذرات کاهش پیدا کند انتقال حرارت جابه‌جایی افزایش پیدا می‌کند.

میرمعصومی و همکارانش (۳۳) جابه‌جایی ترکیبی نانوسیال Al_2O_3 -water در یک لوله افقی را با استفاده از مدل دوفازی EMM بررسی کردند. آنها نشان دادند که غلظت ذرات نانو در اطراف دیواره‌ها و کف لوله بیشتر است و لذا فرض یکنواخت بودن توزیع ذرات در همه موارد معتبر نیست. جابه‌جایی اجباری نانوسیال در جریان در حال توسعه در یک لوله که تحت شار حرارتی ثابت و دمای ثابت قرار دارد، توسط بیانکو و همکارانش (۳۴) و توسط مدل‌های تک‌فازی و چندفازی از جمله مدل حجم سیال (VOF)، EMM و EEM و با در نظرگیری خواص ثابت و تابع دما مورد مطالعه قرار گرفته است. طبق نتایج آنها اختلاف بین مدل هموزن تک‌فاز و مدل مخلوط دوفازی در غلظت حجمی ۱۱٪ قابل توجه می‌شود. علاوه بر این، در نظرگیری خواص وابسته به دما پیش‌بینی بهتری از ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی می‌دهد.

آنها مشاهده کردند که ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی نانوسیال $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-water}$ ۲٫۵٪ در رینولدز ۲۵۰ تا ۱۷٪ افزایش پیدا می‌کند.

کالته و همکارانش با استفاده از مدل دوفازی EEM به مطالعه عددی جابه‌جایی اجباری جریان آرام نانوسیال CuO-water در میکروکانال پرداختند. اگرچه اختلاف سرعت و دما بین فازها جزئی است، EEM در مقایسه با مدل‌های تک‌فازی ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی را با دقت بهتری پیش‌بینی می‌کند. آنها همچنین نشان دادند که برهم‌کنش ذره‌ها با یکدیگر تاثیر ناچیزی بر عدد ناسلت جریان آرام دارد. لطفی و همکارانش مدل تک‌فاز هموژن، EEM و EMM را برای نانوسیال $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-water}$ مورد ارزیابی قرار دادند. این مطالعه وابستگی دمایی خواص و مدل‌های پخش گرمایی را در نظر نگرفت. آنها گزارش دادند که مدل‌های دوفازی ضرایب انتقال حرارت کاملاً توسعه یافته را بیشتر از حد واقعی پیش‌بینی می‌کنند و در بین مدل‌های دوفازی EEM، EMM و VOF، مدل EMM دقیق‌ترین مدل است. اکبری و همکارانش (۳۵) مدل‌های تک‌فازی و دوفازی را برای انتقال حرارت جابه‌جایی ترکیبی نانوسیال $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-water}$ مقایسه کردند. مطالعه آنها مدل‌های تک‌فاز هموژن و دوفازی (VOF, EMM, EEM) با خواص وابسته به دما را پوشش می‌دهد. طبق گزارش آنها ضرایب انتقال حرارت جابه‌جایی پیش‌بینی شده برای مدل‌های دوفازی مشابه هستند.

مدل‌های تک‌فاز و دوفازی برای نانوسیال $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-water}$ توسط فراد و همکارانش مطالعه شده‌اند. آنها نشان دادند که مدل‌های دوفازی اندکی پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از انتقال حرارت نانوسیالات در جریان کاملاً توسعه یافته فراهم می‌کنند. ولی حجم محاسباتی مدل‌های

تک فاز با خواص هموژن بسیار کمتر از مدل‌های دوفازی هست که این مساله جز مزیت‌های روش های تکفاز نسبت به دوفاز است .

اگرچه مدل‌های دوفازی در پیش‌بینی انتقال حرارت دقیق‌تر هستند، به دلیل افزایش تعداد معادلاتی که باید حل شوند از نظر محاسباتی نسبت به مدل‌های تکفازی پرهزینه‌تر هستند. با وجود پرهزینه بودن، الگوریتم نیمه ضمنی کوپل فازها برای معادلاتی که از طریق فشار با هم مرتبط هستند (PC-SIMPLE) به دلیل پایداری در مراجع متعددی برای EEM استفاده شده است. هزینه محاسباتی مدل دوفازی EEM را می‌توان توسط الگوریتم کوپل کامل چندفازی (FMC) برای کوپل کردن سرعت و فشار کاهش داد. در این روش برخلاف سایر روش ها نظیر PC-SIMPLE به جای آن که معادلات مجزا حل شوند به طور همزمان حل می‌شوند.

با توجه به مراجع، مطالعه کاملی که جدیدترین مدل‌های تکفازی و دوفازی را برای بررسی جابه‌جایی اجباری آرام نانوسیالات در نظر بگیرد وجود ندارد. این پژوهش به ارزیابی مدل‌های تکفازی با در نظر گرفتن درصد و خواص فیزیکی نانو سیال با در نظر گیری وابستگی دمایی خواص و اثرات پخش بر مدل‌های تکفاز می‌پردازد.

فصل ۳ :

دینامیک سیالات محاسباتی

۳-۱-۱- مدل‌های ریاضی و معادلات حاکم بر جریان نانوسیال

۳-۱-۱-۱- مدل تک فاز

مدل‌های تک‌فازی، میدان دمایی و سرعتی یکسانی برای سیال پایه و نانوذرات فرض می‌کنند. لذا معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی را می‌توان با استفاده از خواص موثر نانوسیال، مشابه حالتی که سیال یک سیال نیوتونی کلاسیک است حل نمود. خواص موثر تابعی از اندازه ذره (d_p)، نوع، شکل و غلظت حجمی ذره (ϕ_p) و دما هستند (۳۶) برای نانوسیال تک‌فاز هموژن Al_2O_3 -water با خواص ثابت، رسانش گرمایی نانوسیال (k_{nf}) توسط رابطه ساده منتشر شده توسط همیلتون-کراسر (۳۷) همراه با سایر مدل‌های پیشرفته‌تر، تعیین شده است. این رابطه را می‌توان به فرم زیر نمایش داد:

$$\frac{k_{nf}}{k_{bf}} = \frac{k_p + (n-1)k_{bf} - (n-1)(k_{bf} - k_p)\phi_p}{k_p + (n-1)k_{bf} + (k_{bf} - k_p)\phi_p} \quad (1)$$

که در آن k_p و k_{bf} به ترتیب رسانش گرمایی سیال پایه و نانوذرات و $n=3$ ضریب شکل ذرات کروی است. این رابطه وابستگی رسانش گرمایی به دما و اندازه ذرات را در نظر نمی‌گیرد. برای در نظر گرفتن وابستگی رسانش گرمایی نانوسیال Al_2O_3 -water به دما و اندازه

ذرات، رابطه پیشنهاد داده شده توسط چن و همکارانش (۳۸) استفاده شده است. این رابطه در مقایسه با رابطه ارائه شده توسط همیلتون-کراسر رابطه پیشرفته‌تری است. این رابطه را می‌توان به شکل زیر نمایش داد:

$$\frac{k_{nf}}{k_{bf}} = 1 + 64.7 \phi_p^{0.746} \left(\frac{d_{bf}}{d_p} \right)^{0.369} \left(\frac{k_p}{k_{bf}} \right)^{0.7376} Pr^{0.9955} Re_{disp}^{1.2321} \quad (2)$$

که در آن d_{bf} قطر مولکولی سیال پایه است (۰,۲۹ نانومتر برای آب). عدد پرانتل (Pr) و عدد رینولدز پخش (Re_{disp}) در این رابطه به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$Pr = \frac{\mu_{bf}}{\rho_{bf} \alpha_{bf}} \quad (3)$$

$$Re_{disp} = \frac{\rho_{bf} k_B T}{3\pi \mu_{bf}^* \lambda_{bf}} \quad (4)$$

که در آن چگالی سیال پایه، K_B ثابت بولتزمن، T دمای مطلق، λ_{bf} میانگین فاصله بین مولکول‌های سیال پایه (۰,۱۷ نانومتر برای آب)، ضریب پخش گرمایی سیال پایه و μ_{bf} لزجیت وابسته به دمای سیال پایه (Pa-s) است که به شکل زیر تعریف شده است (۳۹):

$$\mu_{bf} = 2.414 \times 10^{-5} \times 10^{\frac{247.8}{T-140}} \quad (5)$$

مدل تکفاز هموژن با رسانایی گرمایی وابسته به دما با نام SPT نشان داده می‌شود. برای

مدل‌های تکفاز هموژن، رسانش گرمایی موثر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$k_{eff} = k_{nf} \quad (6)$$

از سوی دیگر چگالی ρ_{nf} و ظرفیت گرمایی نانوسیال $c_{p,nf}$ توسط مدل‌های ترکیبی

کلاسیک به شکل زیر تعریف شده‌اند:

$$C_{p,nf} = \frac{(1 - \phi_p)\rho_{bf}C_{p,bf} + \rho_p\phi_pC_{p,p}}{\rho_{nf}} \quad (7)$$

$$\rho_{nf} = (1 - \phi_p)\rho_{bf} + \phi_p\rho_p \quad (8)$$

مایگا و همکارانش (۴۰) یک چندجمله‌ای درجه ۲ برای برازش داده‌های آزمایشگاهی

مرتبط با لزجیت نانوسیال Al_2O_3 -water به فرم زیر ارائه کرده‌اند:

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} = 1.23\phi_p^2 + 7.36\phi_p + 1 \quad (9)$$

که در این پژوهش از آن برای تمام مدل‌های تکفاز استفاده شده است.

۳-۱-۲- مدل پخش تک فازی

تفاوت مدل پخش تک فازی و مدل های هموزن تک فازی در نحوه تعریف رسانش موثر نانوسیال است. ژوان و روتزل (۴۱) برای در نظر گرفتن اثرات پخش، اغتشاش کمی وارد معادلات مومنتوم و انرژی کردند. سپس اثرات پخش به عنوان یک ترم اضافی در رسانش موثر نانوسیال نمایش داده شدند و با رسانایی پخش k_d نام گذاری شدند و می توان آن را مطابق مرجع (۴۲) تعریف کرد.

برای مدل های پخش، رسانش موثر نانوسیال به شکل زیر تعریف می شود:

$$k_{eff} = k_{nf} + k_{disp} \quad (10)$$

که k_{nf} رسانش گرمایی نانوسیال است و توسط روابطی نظیر معادله ۱ یا ۲ تعیین می شود. رابطه ارائه شده توسط ژوان و روتزل (۴۱) (SPD۱) را می توان به شکل زیر نشان داد:

$$k_{disp} = C_1 (\rho c_p)_{nf} \phi_p d_p R u \quad (11)$$

که در آن C_1 یک ثابت تجربی است که مدل را برحسب داده های آزمایشگاهی کالیبره می کند، u سرعت جریان در جهت x است و R شعاع لوله است. یک رابطه دیگر توسط مکملی و صفاراول (۴۲) پیشنهاد داده شده (SPD۲) که می توان آن را به شکل زیر نمایش داد:

$$k_{disp} = C_r (\rho c_p)_{nf} \phi_p \frac{\partial u}{\partial r} \frac{R}{d_p} \quad (12)$$

که در آن C_r یک ثابت تجربی است که مدل را برحسب داده‌های تجربی کالیبره می‌کند. زمانی که C_1 و C_2 برابر با صفر قرار داده شوند هر دو مدل به مدل تک‌فاز هموژن تبدیل می‌شوند.

۳-۲- نحوه گسسته سازی معادلات در یک سلول مش فلوئنت

حلگر فلوئنت از روش مبتنی بر حجم کنترل برای تبدیل معادلات پیوستگی و انتقال مومنتوم و حرارت به یک دسته معادلات جبری استفاده می‌کند. عبارت دیگر معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی^۱ را به یک دسته معادلات جبری تبدیل می‌کند. سپس این دسته معادلات را به روش‌های عددی حل می‌کند. (۴۳)

روش حجم کنترل شامل انتگرال گیری از معادلات انتقال بر روی هر سلول حجم کنترل می‌باشد. که در واقع این معادلات گسسته شده قانون بقا را برای حجم کنترل بیان می‌کنند (بقای جرم مومنتوم و حرارت) گسسته سازی معادلات حاکم به آسانی می‌تواند با در نظر گرفتن معادلات بقا در شکل ناپایا برای انتقال خاصیت ϕ به صورت زیر بیان شود. در واقع معادله ی زیر فرم کلی معادلاتی است که در فلوئنت برای هر سلول گسسته سازی و حل می‌گردد. (۴۳)

^۱ PDE

$$\int_V \frac{\partial \rho \phi}{\partial t} dV + \oint \rho \phi \vec{v} \cdot d\vec{A} = \oint \Gamma_\phi \nabla \phi d\vec{A} + \int_V S_\phi dV \quad (۱-۳)$$

که :

جدول (۱-۳) متغیرهای معادله قانون بقا اسکالر (ϕ) (۴۳)

ρ	چگالی
ϕ_f	بردار سرعت
\vec{A}	بردار سطح
Γ_ϕ	ضریب انتشار ϕ
$\nabla \phi$	درجه ϕ
S_ϕ	منبع ϕ در واحد حجم

معادله ی بالا برای هر سلول از مش میدان محاسباتی حل می گردد. لازم به ذکر است با

فرض $\phi = 1$ معادله بالا تبدیل به معادله پیوستگی (بقا جرم) برای یک سلول میشود و یا با

فرض $\phi = u_x$ معادله بالا به معادله پایستگی مومنتوم در جهت X تبدیل خواهد شد با فرض

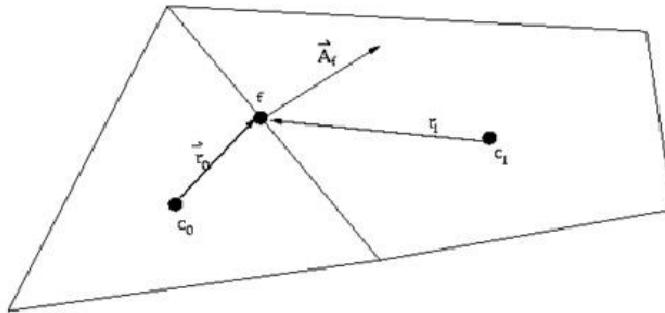
$\phi = e$ معادله بالا به معادله پایستگی انرژی تبدیل خواهد شد (۴۳).

در زیر مثالی آورده خواهد شد تا نحوه گسسته سازی معادلات بر روی یک سلول بخوبی

نشان داده شود گسسته سازی معادله ی بالا بر روی مش دوبعدی مثلثی شکلی که در زیر نشان

داده شده است بصورت زیر صورت می گردد.

$$\frac{\partial \rho \phi}{\partial t} V + \sum_f^{N_{Faces}} \rho_f \phi_f \vec{v}_f \cdot \vec{A}_f = \sum_f^{N_{Faces}} \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot \vec{A}_f + S_\phi V \quad (2-3)$$



استفاده از حجم کنترل برای نشان دادن تعریف معادله انتقال اسکالر

شکل (۱-۳) از حجم کنترل بالا برای تشریح نحوه گسسته سازی معادلات انتقال یک اسکالر استفاده شده است. (شکل بالا دو سلول مش مجاور هم را نشان میدهد. یکی مثلی و دیگری چهار ضلعی)

که در این رابطه

$$\frac{\partial \rho \phi}{\partial t} = \frac{(\rho \phi)^{n+1} - (\rho \phi)^n}{\Delta t} \quad (3-3)$$

معادله انتقال اسکالر گسسته شده (معادله ۰) شامل اسکالر مجهول ϕ در مرکز سلول و همچنین شامل اسکالر مجهول ϕ در همسایگی آن سلول می باشد. در حالت کلی این معادله

بصورت غیر خطی خواهد بود (با توجه به متغیرها) فرم خطی شده‌ی معادله ۰ بصورت زیر است (۴۳).

$$a_p \phi_p = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b \quad (۴-۳)$$

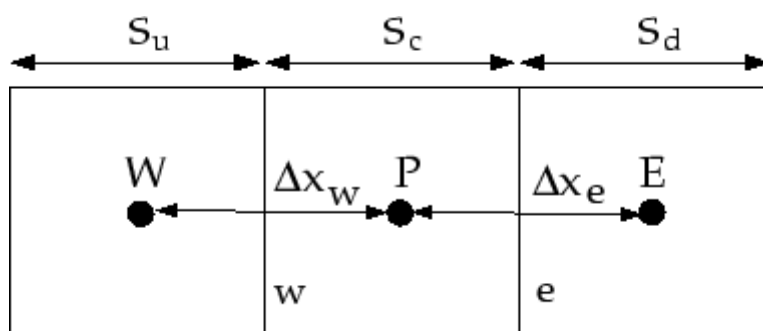
که زیر نویس nb به همسایگی سلول p اشاره دارد و ضرایب a_p و a_{nb} ضرایب خطی متغیر ϕ هستند. تعداد همسایگی سلول p به توپولوژی مش (نوع شبکه‌بندی هندسه) بستگی دارد.

جدول (۲-۳) متغیرهای معادله قانون بقا اسکالر (ϕ)

N_{faces}	تعداد سلول سطح
\vec{v}	بردار سرعت
$\rho_f v_f \vec{A}_f$	جریان شار سطح
\vec{A}_f	مساحت f
$\nabla \phi_f$	درجه ϕ
V	حجم سلول

همانند آنچه برای سلول p نوشته شد. برای تمام سلولهای دیگر نیز میتوان همین معادله را نوشت. مجموعه ی این معادلات تشکیل یک دستگاه معادلات جبری خواهند داد. که حلگر فلوئنت این دسته معادلات را با یکدیگر حل می‌کند (۴۳).

به عنوان مثالی دیگر در شکل زیر یک حجم کنترل یک بعدی و همسایگانش نشان داده شده است.



شکل (۲-۳) حجم کنترل یک بعدی با دو همسایه در شرق و غرب

فصل ۴:

مدلسازی

۴-۱- مقدمه

یکی از مسائلی که امروزه در انتقال حرارت مطرح می‌شود لزوم افزایش قابل توجه شار حرارتی و کوچک‌سازی تجهیزات انتقال حرارت است. مبدل‌های پوسته لوله به‌طور گسترده‌ای در صنایع مختلفی نظیر فرآیندهای بازیافت گرما، سیستم‌های تبرید و تهویه مطبوع و صنایع غذایی و داروسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند و بهبود انتقال حرارت این نوع مبدل‌ها کمک شایانی به کاهش مصرف انرژی می‌نماید. یکی از روش‌های موثر در افزایش انتقال حرارت مبدل‌ها، استفاده از سیالاتی با خواص حرارتی بالاتر می‌باشد. اغلب سیالات معمول در سیستم‌های انتقال حرارت مانند آب، اتیلن‌گلیکول، روغن موتور و... در ظرفیت و ویژگی‌های حرارتی دارای محدودیت‌های ذاتی هستند. با توجه به اینکه جامدات فلزی و اکسیدهای آنها رسانش بالاتری نسبت به سیالات دارند بنابراین می‌توان انتظار داشت که سیالات حاوی ذرات جامد دارای هدایت گرمایی بالاتری نسبت به سیالات متداول انتقال حرارت باشند. اما مشکلات ناشی از اضافه کردن ذرات میلی و میکرومتری به سیالات از قبیل عدم پایداری، ته‌نشینی، سائیدگی و فرسایش مجاری، کلوخه‌شدگی، انسداد لوله‌ها، افت فشار و

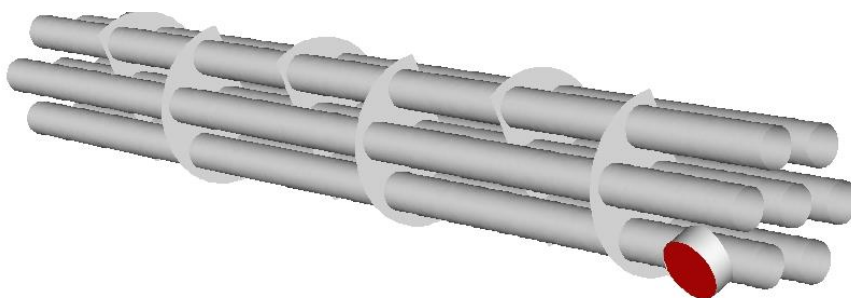
کاهش عمر قطعاتی مانند پمپ‌ها، یاتاقان‌ها و ... مانع از دستیابی به یک محصول تجاری می‌شد. پیشرفت‌های اخیر در دانش نانو تکنولوژی از دهه قبل امکان ایجاد نوع بسیار جدیدی از سیالات به نام نانوسیالات را فراهم کرده است، اندازه‌ی بسیار کوچک ذرات استفاده شده و کسر حجمی پایین ذرات نانو مسائلی نظیر ته‌نشینی و کلوخه شدن را از بین می‌برد. به علت اندازه کوچک، مسئله‌ی سائیدگی و آسیب رساندن به سیستم‌ها در مورد این ذرات وجود ندارد. علاوه بر این سطح نسبی بزرگ این ذرات تاثیرات غیر تعادلی بین سیال و جامد را کاهش داده و باعث پایداری سوسپانسیون می‌گردد. تمامی مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهند که استفاده از نانوذرات باعث بهبود خواص حرارتی سیال پایه می‌شوند و همچنین میزان انتقال حرارت در مبدل‌ها را به دلیل افزایش هدایت حرارتی و ضریب انتقال حرارت، افزایش می‌دهند.

در پژوهش حاضر به مقایسه انتقال حرارت بخش پوسته در مبدل حرارتی پوسته و لوله با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی می‌پردازیم. نوع رژیم جریان آشفته در نظر گرفته شده است. برای اعتبار سنجی نتایج از مبدل حرارتی پوسته و لوله موجود در مرجع (۴۴) استفاده شده است. مرحله اجرا و پیاده سازی با استفاده از نرم افزار انسیس فلوئنت نسخه ۱۸ انجام گرفته است. قطر پوسته مبدل مورد بررسی ۹۰ میلیمتر قطر خارجی لوله ۱۹ میلیمتر طول مبدل ۶۰۰ میلیمتر تعداد لوله ها ۷ عدد نوع آرایش دسته لوله ها ۳۰ مثلی و درصد برش بافل ۲۶ درصد در نظر گرفته شد. تعداد بافل ها در سراسر مبدل ۶ عدد و همچنین فاصله مرکزی بافلها ۸۰ میلیمتر انتخاب گردید. در جریان حل مساله فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

- اتلاف حرارتی از پوسته صفر
- سیال داخل تیوب دما ثابت (تغیر فاز سیال)
- رژیم جریان سیال مغشوش، نوع تحلیل پایا می باشد.
- میدان محاسباتی جریان سیال سمت پوسته است و جریان سمت لوله حل نمی گردد.
- سیال با دبی ۰/۵ کیلوگرم بر ثانیه و با دمای ۲۷ درجه سانتیگراد.

۴-۲- هندسه مورد بررسی

در شکل زیر هندسه مورد بررسی (دسته تیوب بافل ها ورودی پوسته) رسم شده است.



شکل (۴-۱) هندسه مورد بررسی بدون پوسته

۴-۳- شبکه بندی هندسه

۴-۳-۱- تولید شبکه و استراتژی های مختلف آن

روش های عددی بر مبنای گسسته سازی فضایی میدان حل توسعه می یابند. این بدین مفهوم است که بجای بررسی و تحلیل یک فضای پیوسته که شامل بینهایت نقطه است، ترجیح داده میشود تا با تنها تعدادی از آن نقاط به عنوان نماینده آن فضا طرف شد و معادلات حاکم

را برای آن ها حل نمود. این مهم یکی از موارد ضروری برای هر گونه تحلیل عددی با استفاده از روش های مرسوم از قبیل المان محدود^۱ و یا حجم محدود^۲ بوده و از آن با عنوان گسسته سازی فضایی^۳ نام برده میشود.

در منطق روش حجم کنترل که روش اصلی گسسته سازی معادلات حاکم بر دینامیک سیال می باشد (از قبیل بقای جرم، بقای مومنتوم خطی و زاویه ای، بقای انرژی و ...)، بر روی هر کدام از سلول هایی که در اثر تولید شبکه بوجود می آید، انتگرال گیری انجام شده و معادلات دیفرانسیل حاکم تبدیل به دستگاه معادلات جبری خواهند شد. به همین دلیل تولید شبکه مناسب (چه از نظر کمیت و چه کیفیت) یکی از اولین اقدامات برای انجام تحلیل عددی صحیح میباشد.

در فرآیند تولید شبکه، هندسه مورد بررسی (فضای پیوسته) تبدیل به المان هایی با اشکال متنوع میشود (فضای گسسته) که حل معادلات عملاً بر روی این المان ها انجام میگردد و لذا دیگر هندسه ای در کار نخواهد بود.

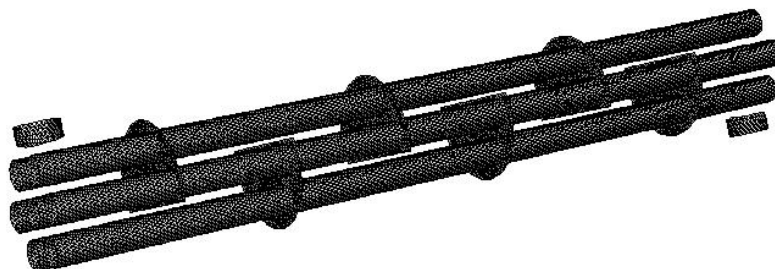
در روش حجم کنترل که در این پژوهش نیز مد نظر است، المان هایی که وظیفه پوشانیدن هندسه را دارند بصورت کلی به دو دسته دو بعدی و سه بعدی قابل تقسیم هستند. بدیهی است که از المان های دو بعدی برای تولید شبکه هندسه های با توپولوژی دو بعدی (سطوح) استفاده میشود همانند یک صفحه مسطح و یا یک رویه بدون ضخامت و از المان های سه بعدی برای پوشانیدن توپولوژی سه بعدی (احجام) مانند فضای داخلی یک سایکلون به دلیل پیچیدگی هندسه مورد نظر از یک شبکه بی سازمان بامش های ۴ وجهی استفاده شده است. هندسه مبدل حرارتی با استفاده از نرم افزار گمبیت ورژن ۲,۲,۴۰ به صورت سه بعدی رسم

^۱ finite element

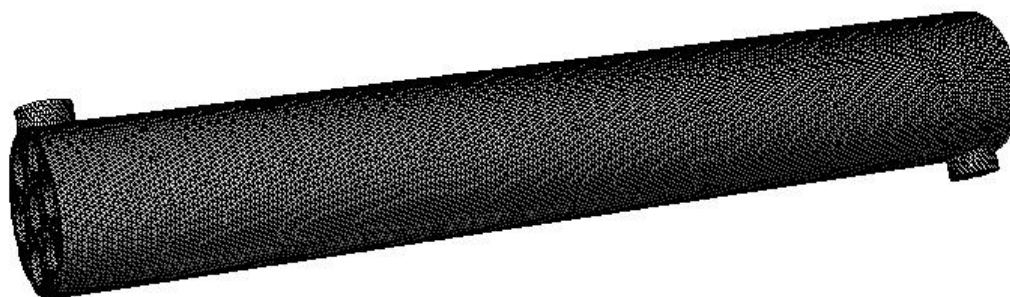
^۲ finite volume

^۳ spatial discretization

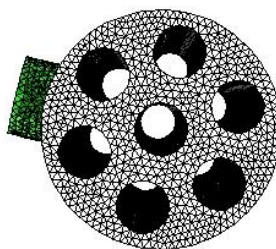
گردید شکل زیر هندسه مورد نظر می باشد. برای شبکه بندی حجمی مبدل حرارتی، شبکه های چهاروجهی ترکیبی استفاده شده است. تعداد سلولهای شبکه در حدود ۶۰۰۰۰۰ عدد می باشد.



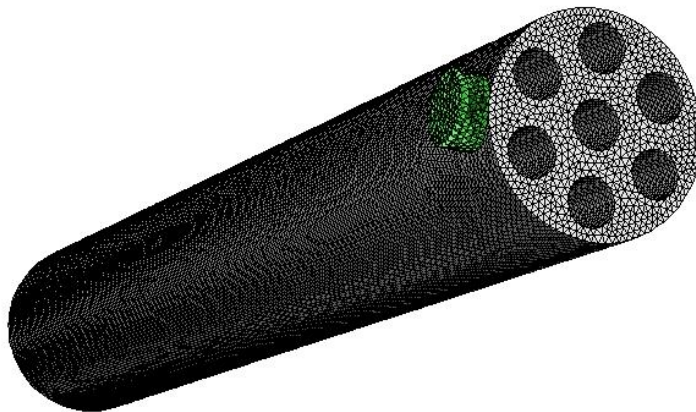
شکل (۲-۴) هندسه مبدل بدون دیواره shell



شکل (۳-۴) هندسه مبدل به همراه دیواره shell



شکل (۴-۴) هندسه مبدل از نمای جانبی



شکل (۴-۵) نمای ایزومتریک مبدل (همانطور که مشاهده میکنید شبکه های چهاروجهی در شکل قابل تشخیص است)

۴-۴- شرایط مرزی

حل تمام مسائل CFD و شبیه سازی های سیالاتی با نرم افزارهایی همچون انسیس فلوئنت (Ansys Fluent) منوط به اعمال صحیح مقادیر متغیرهای موجود در گره های مرزی می باشد. در مسائل دائمی، فقط شرایط مرزی لازم است و برای مسائل غیر دائم، اعمال شرایط اولیه برای تمام گره های شبکه نیز لازم می باشد.

انواع شرایط مرزی در CFD و فلوئنت و شبیه سازی عددی سیالات عبارت اند از:

- شرط مرزی جرم ورودی^۱
- شرط مرزی خروجی^۲
- شرط مرزی دیواره^۳

^۱ mass flow inlet

^۲ pressure outlet

^۳ Wall

- شرط مرزی فشار معلوم^۱
- شرط مرزی تقارن^۲
- شرط مرزی تقارن^۳
- شرط مرزی تکراری^۴

شرایط فوق، متناسب با هر مسئله‌ای به مرزهای موجود در میدان حل اعمال می‌شود.

شرایط مرزی بر اساس نیاز مدل در دینامیک سیالات محاسباتی تعیین می‌شود. در جدول زیر

شرایط مرزی مورد استفاده در این پژوهش آورده شده است. گره‌های مرزی جریان سیال

شامل ورودی پوسته، خروجی پوسته، دیواره پوسته، دیواره لوله و دیواره بافل‌ها می‌باشد.

^۱ Prescribed Pressure

^۲ Symmetry

^۳ Symmetry

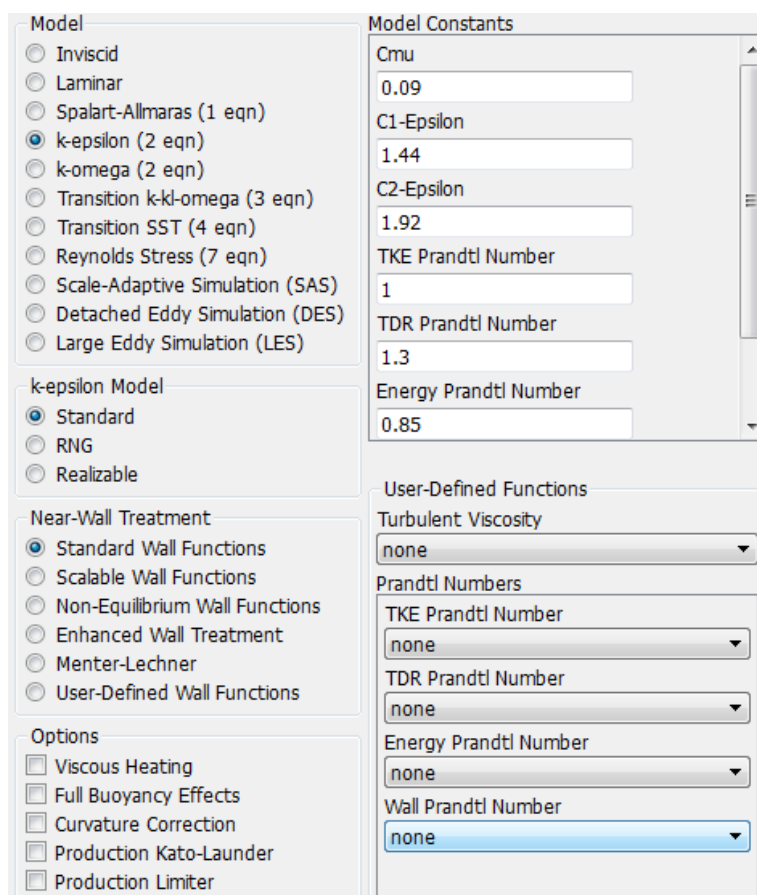
^۴ Periodic

جدول (۴-۱) شرایط مرزی مورد استفاده در حل مسئله

شرایط مرزی	بخش پوسته
جریان جرمی (ورودی پوسته)	۰,۵ kg/s
فشار خروجی (خروجی پوسته)	۰ bar gauge
دیواره (دیواره بافل ، دیواره پوسته ، دیواره لوله)	شرایط بدون لغزش
دمای ورودی پوسته	۲۷ C
دمای دیواره لوله	۱۷۷ C

۴-۵- انتخاب مدل آشفتگی

شبیه سازی جریان توربلانس را میتوان به کمک معادلات صفر تک و دو معادله ای انجام داد معادلات دو معادله ای به دلیل ماهیت نیمه تجربی آنها از دقت بالاتری برخوردار هستند.



شکل (۴-۶) انتخاب مدل آشفتگی $k - \epsilon$ در نرم افزار فلوئنت

در روش دو معادله ای یک معادله انرژی جنبشی توربلانس و معادله دیگر مقیاس طولی را مد نظر قرار می دهد. مقیاس طولی ارتباط مستقیم با سایز گردابه ها دارد. در اثر تبدیل گردابه های بزرگ به گردابه های کوچکتر، انرژی زیادی هدر می رود، اندازه گردابه ها ارتباط مستقیم به اندازه اولیه و نرخ اتلاف دارد. مدل آشفتگی جریان $k - \epsilon$ در بین مدل های

آشفستگی مورد توجه بیشتری واقع شده است. و کاربرد فراوانی دارد. در این پژوهش از این مدل بمنظور حل جریان آشفته استفاده شده است. مطابق شکل بالا اطلاعات مربوط به این بخش تکمیل شده است. مدل $k - \varepsilon$ جزء یکی از قدرتمندترین مدل‌های اغتشاش برای مسائل مهندسی محسوب می‌شود. قدرتمندی، اقتصادی بودن محاسبات و داشتن دقت قابل قبول در مسائل صنعتی و انتقال حرارت سبب محبوبیت آن شده است. مدل $k - \varepsilon$ یک مدل نیمه تجربی است و معادلات آن بر اساس مشاهدات تجربی و ملاحظات پدیده‌شناسی به وجود آمده‌اند و برای مدل‌سازی مبدل‌های حرارتی بسیار مناسب می‌باشند (۴۵).

۴-۶- روش حل عددی

معادلات پیوستگی مومنتوم و انرژی در فصل قبل به تفصیل بررسی شد. برای گسسته‌سازی در مدل مذکور، از طرح گسسته‌سازی مرتبه دوم برای معادلات انرژی و مومنتوم، و برای سایر معادلات از طرح گسسته‌سازی مرتبه اول استفاده شده است. معیارهای همگرایی برای معادلات مومنتوم، K و ε ، 10^{-6} و برای معادله پیوستگی و انرژی 10^{-7} در نظر گرفته شد.

به دلیل اینکه خواص ترموفیزیکی نانوسیال با دما تغییر می‌کند، برای بهتر شدن نتایج با استفاده از زبان برنامه‌نویسی C برای ویسکوزیته، دانسیته و ضریب هدایت حرارتی موثر نانوسیال، توابع زیر به عنوان تابع ورودی کاربر در نرم‌افزار تعریف شده‌اند. برای تعیین ویسکوزیته نانوسیال، به دلیل تأثیر مستقیم روی افت فشار از سه مدل انیشتین (۴۶)، ونگ و همکاران (۴۷) و بونجیورنو (۴۸) استفاده شده است و نتایج حاصل از افت فشار حاصل از سه

مدل با یکدیگر مقایسه شده‌اند. لازم به ذکر است که مدل انیشتین دارای مبنای تئوری بوده اما دو مدل دیگر دارای مبنای تجربی و آزمایشگاهی می‌باشند و مخصوص نانوسیال ارائه شده‌اند. مدل تئوری انیشتین^۱:

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 2.5\Phi) \quad (9)$$

مدل تجربی ونگ و همکاران^۲:

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 7.3\Phi + 123\Phi^2) \quad (10)$$

مدل تجربی بونجیورنو^۳:

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 39.115\Phi + 533.9\Phi^2) \quad (11)$$

دانشیته نانوسیال از معادله زیر محاسبه می‌گردد (۴۹)

$$\rho_{nf} = (1 - \phi_p)\rho_{bf} + \phi_p\rho_p \quad (12)$$

برای محاسبه ضریب انتقال حرارت از رابطه یو و چوئی استفاده شده است که ϵ در

آن برابر ۰/۱ در نظر گرفته می‌شود (۵۰). برای محاسبه ظرفیت حرارتی نانوسیال نیز از رابطه

ژوان و روتزل (۵۱) استفاده شده است.

$$C_{p,nf} = \frac{(1 - \phi_p)\rho_{bf}C_{p,bf} + \rho_p\phi_pC_{p,p}}{\rho_{nf}} \quad (14)$$

در ادامه جدول علایم و اختصار رسم شده است.

^۱ Einstein

^۲ Wang

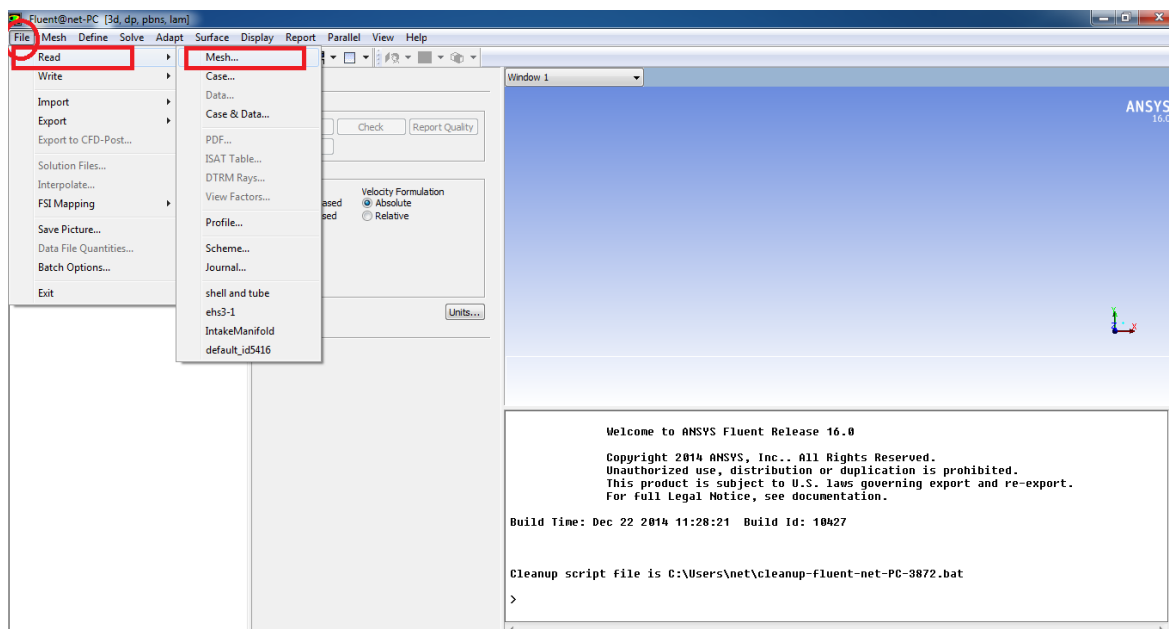
^۳ Buongiorno

جدول (۴-۲) فهرست علائم و نشانه‌ها

سیال پایه	<i>subtitle of bf</i>
ثوابت معادلات انتقال	$C_{1\varepsilon}, C_{1\varepsilon}, C_{1\varepsilon}$
دانسیته	ρ
تابع اتلاف	φ
ویسکوزیته دینامیک	μ
تولید آشفته‌گی به دلیل خاصیت شناوری	G_b
شتاب گرانشی	g
ظرفیت حرارتی	C_p
شار حرارتی	Q
انرژی جنبشی حاصل از نوسانات آشفته‌گی در واحد جرم	K
نانوسیال	<i>subtitle of nf</i>
نانوذرات	<i>subtitle of np</i>
مختصات موقعیت	x, y, z
فشار	p
اغتشاش تولید شده بر اثر گرادیان سرعت	G_k
تنش برشی	T
هدایت حرارتی	k
عدد پرانتل آشفته‌گی برای k	σ_k
عدد پرانتل آشفته‌گی برای ε	σ_ε
ویسکوزیته آشفته‌گی	μ_t
متغیرهای تعریف شده رابطه انتقال	S_k, S_ε
اجزاء سرعت	u, y, w
بردار سرعت	\vec{V}
نرخ اتلاف ویسکوزیته	ε
درصد حجمی	Φ

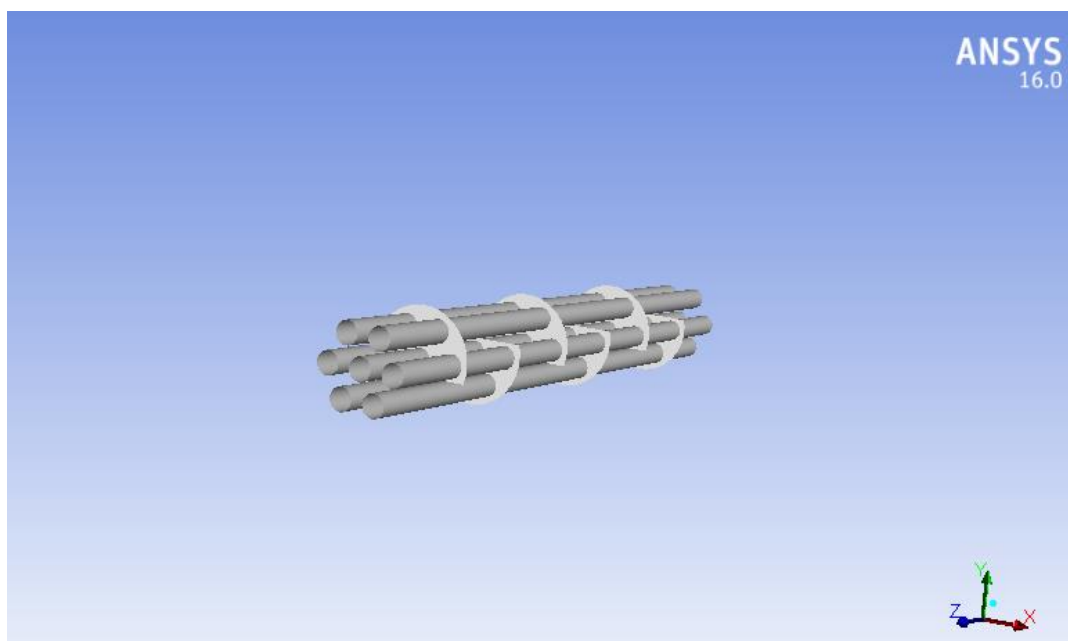
۴-۷- مراحل گام به گام شبیه سازی فلوئنت

مرحله ۱: خواندن فایل خروجی مش در نرم افزار ansys-fluent



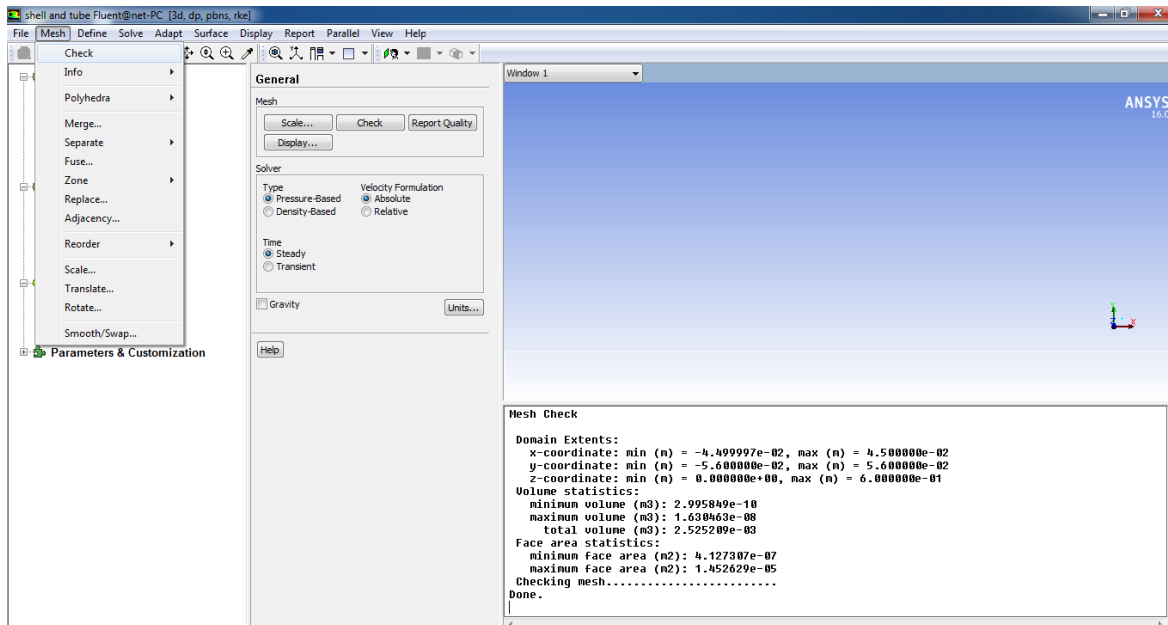
شکل (۴-۷) خواندن فایل خروجی مش در نرم افزار فلوئنت

مرحله اختیاری: نمایش دسته لوله به همراه بافل ها



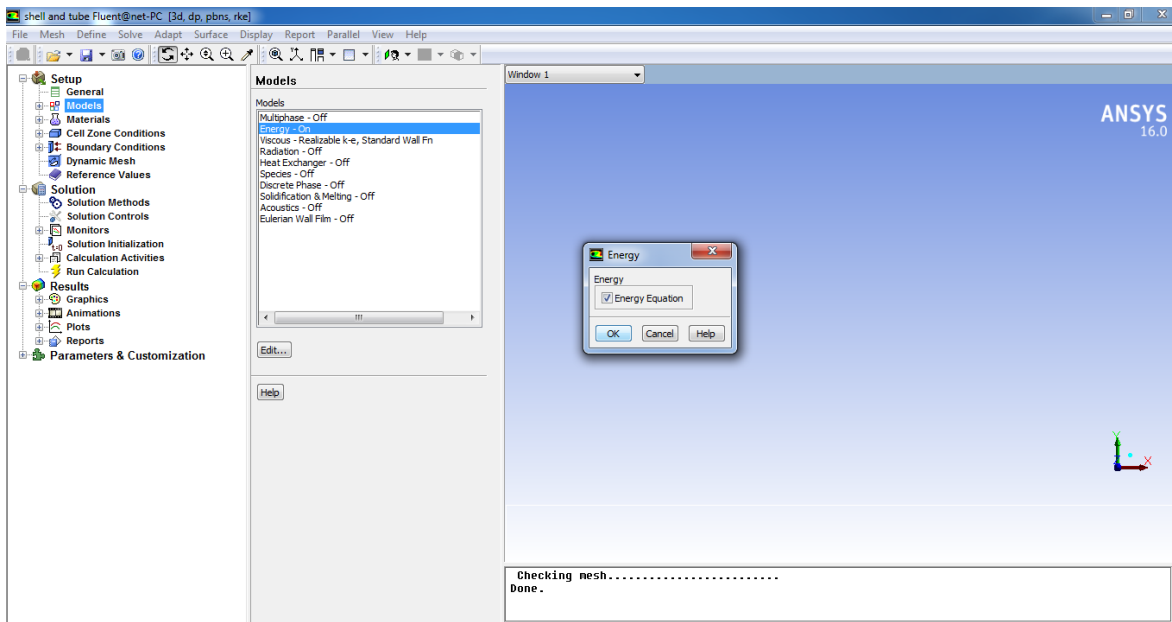
شکل (۴-۸) فضای هندسی سه یعدی داخل پوسته (tube bundle)

مرحله ۲: چک کردن مش تولیدی



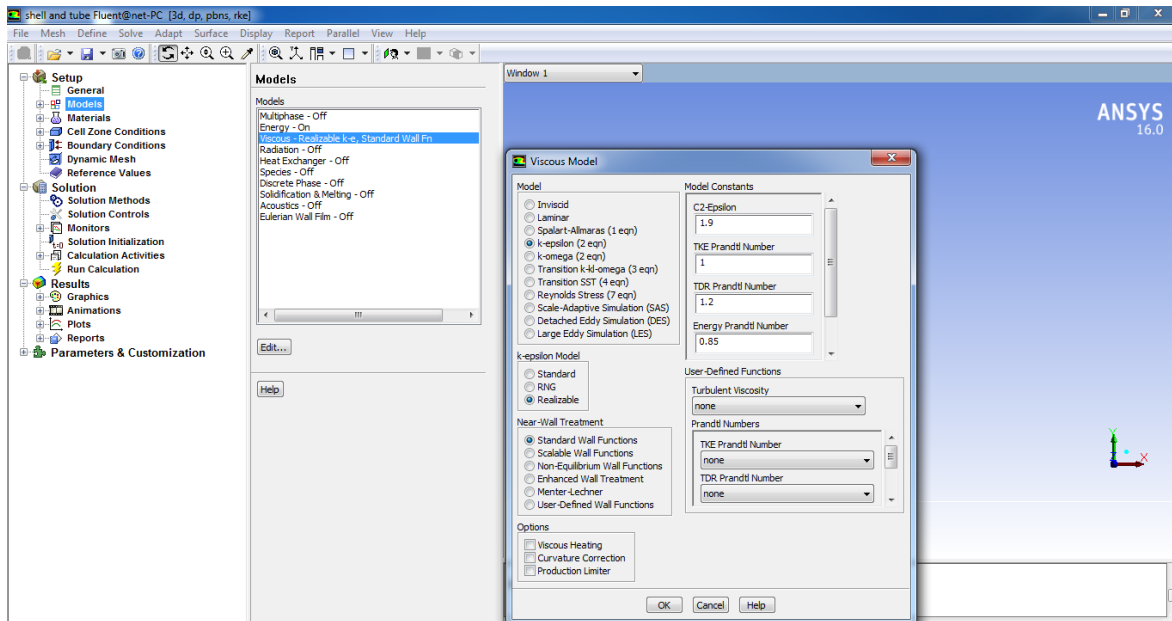
شکل (۴-۹) بررسی مش تولیدی (مینیمم و ماکزیمم حجم سلول مش در این مرحله نمایش داده می شود)

مرحله ۳: از منوی models معادله انرژی را فعال می کنیم



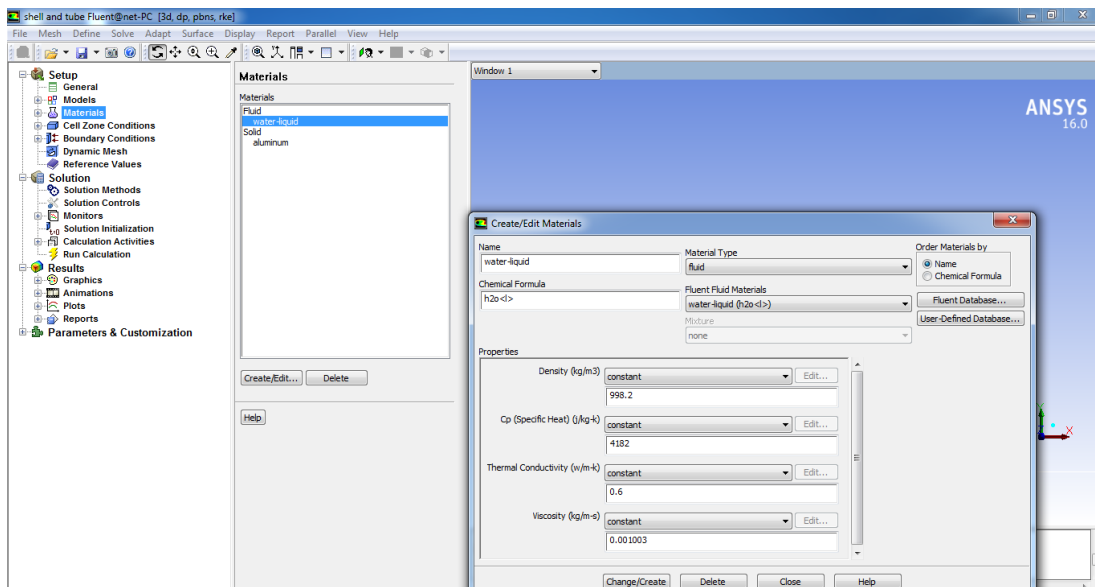
شکل (۴-۱۰) فعال کردن معادله انرژی از زیرمنوی mode

مرحله ۴: انتخاب نوع جریان توربولانس و مدل $k - \epsilon$



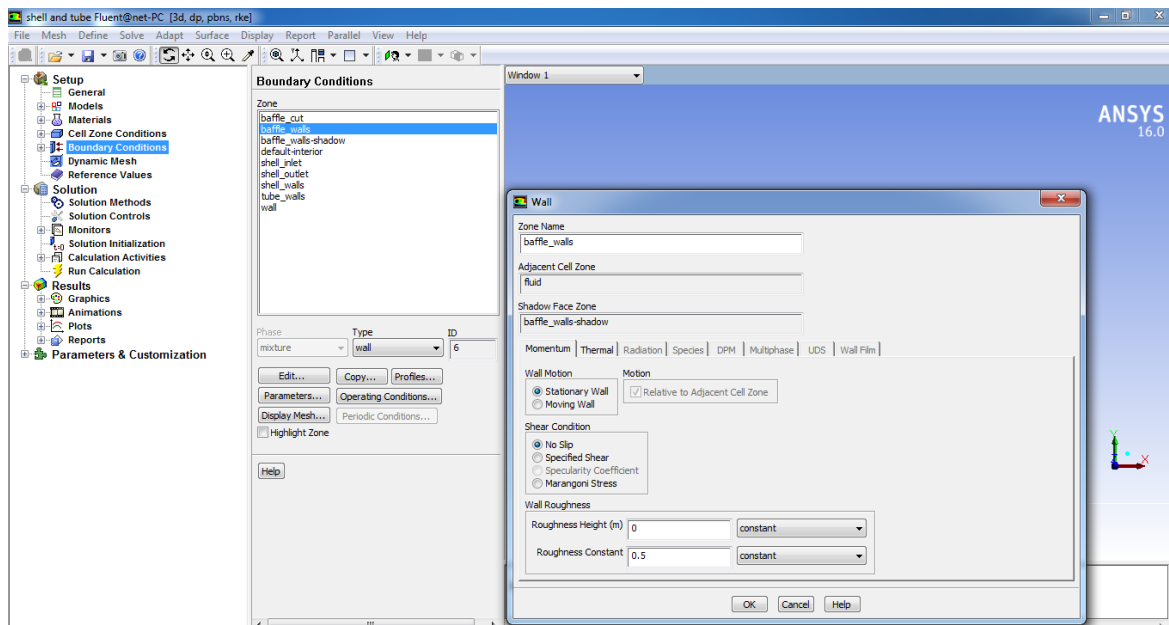
شکل (۴-۱۱) انتخاب مدل مغشوش $k - \epsilon$ (پارامترهای تنظیمی این مدل بصورت پیش فرض در نظر گرفته شدند)

مرحله ۵: انتخاب سیال آب و همچنین انتخاب جنس آلومینیوم برای بدنه دسته لوله‌ها



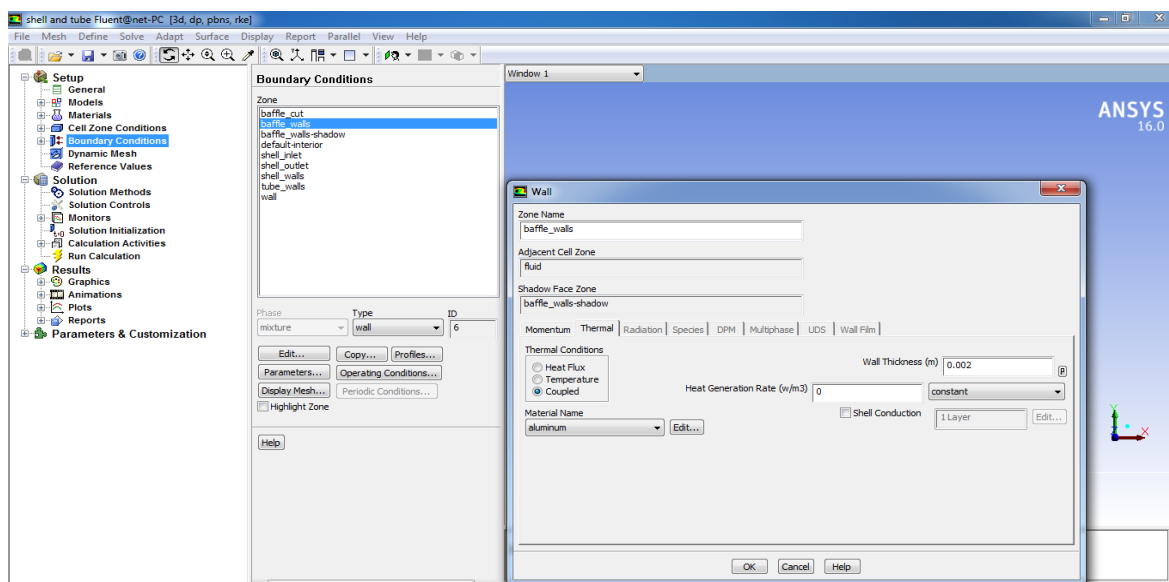
شکل (۴-۱۲) از زیر منوی material نوع سیال و جنس بخش لوله های مبدل انتخاب میشود.

مرحله ۶: انتخاب شرایط مرزی برای دیواره ی بافل (شرط مرزی عدم لغزش)



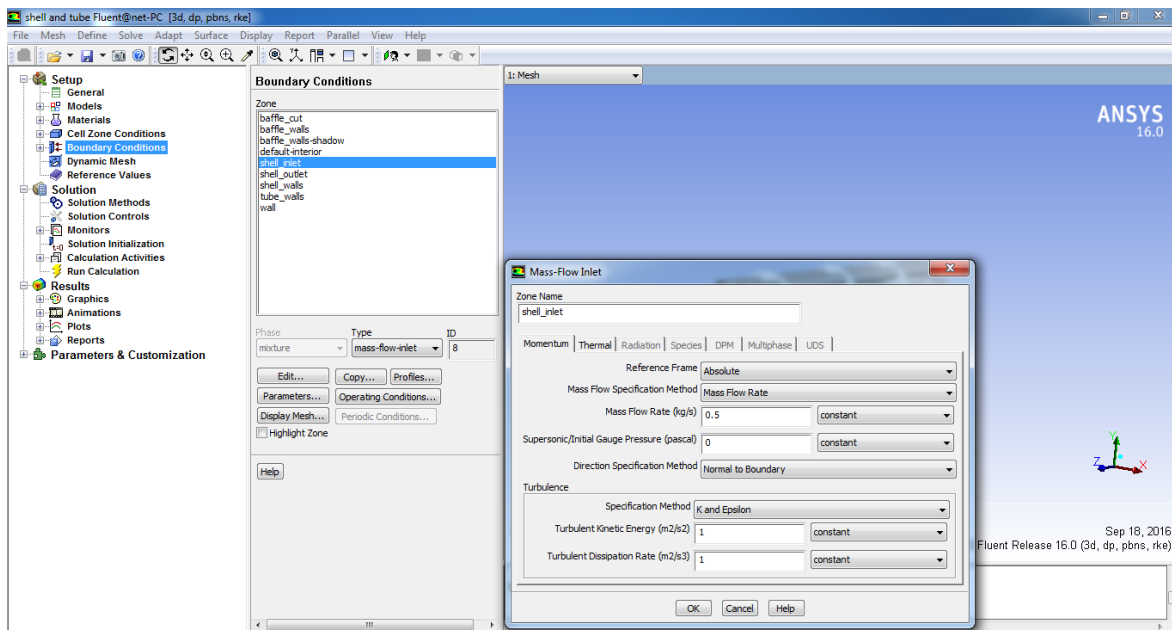
شکل (۴-۱۳) از زیر منوی boundary condition شرط مرزی عدم لغزش انتخاب می شود.

مرحله ۷: انتخاب شرایط مرزی حرارتی برای دیواره ی بافل و دادن ضخامت آن



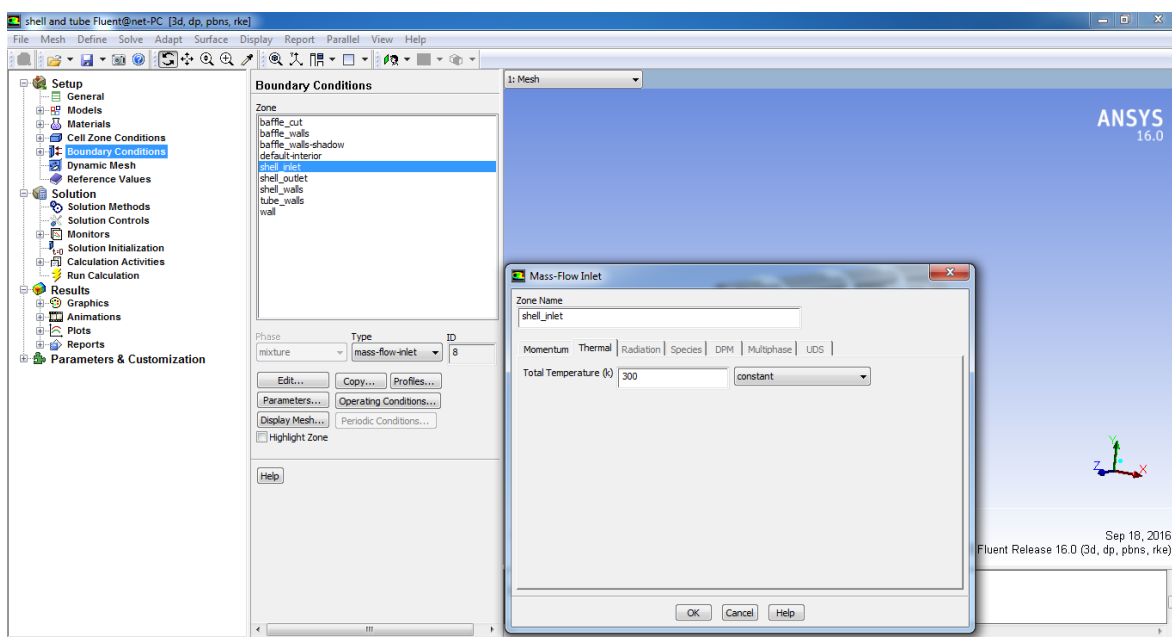
شکل (۴-۱۴) از زیر منوی boundary condition شرط مرزی حرارتی coupled انتخاب می شود.

مرحله ۸: انتخاب شرایط مرزی mass flow rate برای ورودی پوسته



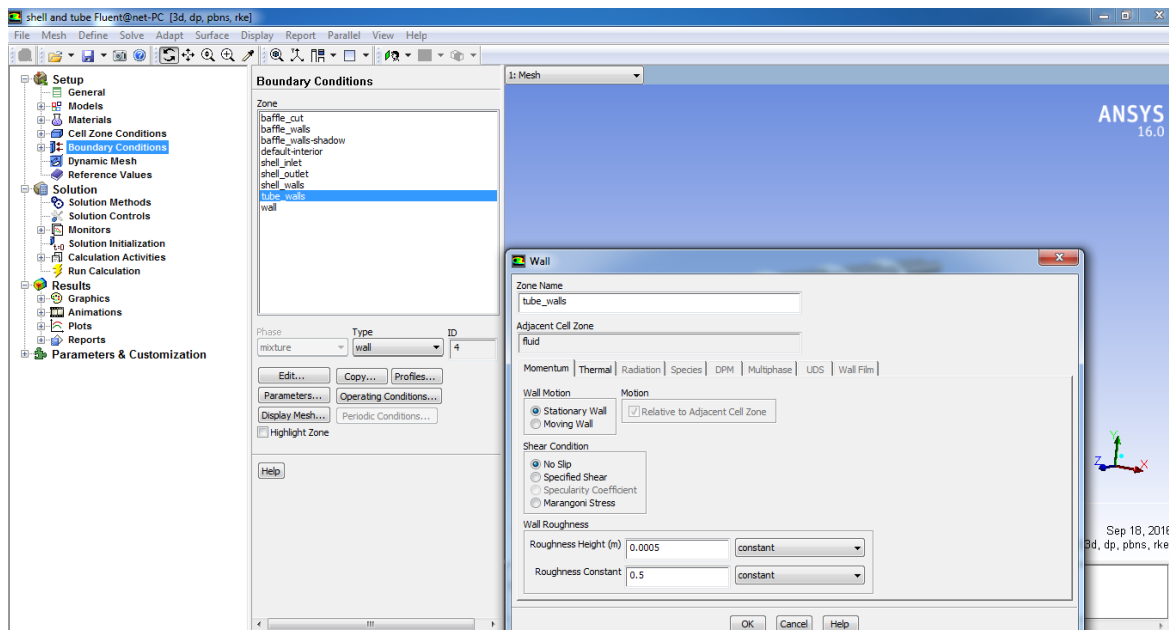
شکل (۴-۱۵) مقدار دبی جرمی برای ورودی سمت پوسته برابر ۰.۵ کیلوگرم از منوی boundary condition

مرحله ۹: انتخاب شرایط مرزی دمای ورودی برای سمت پوسته



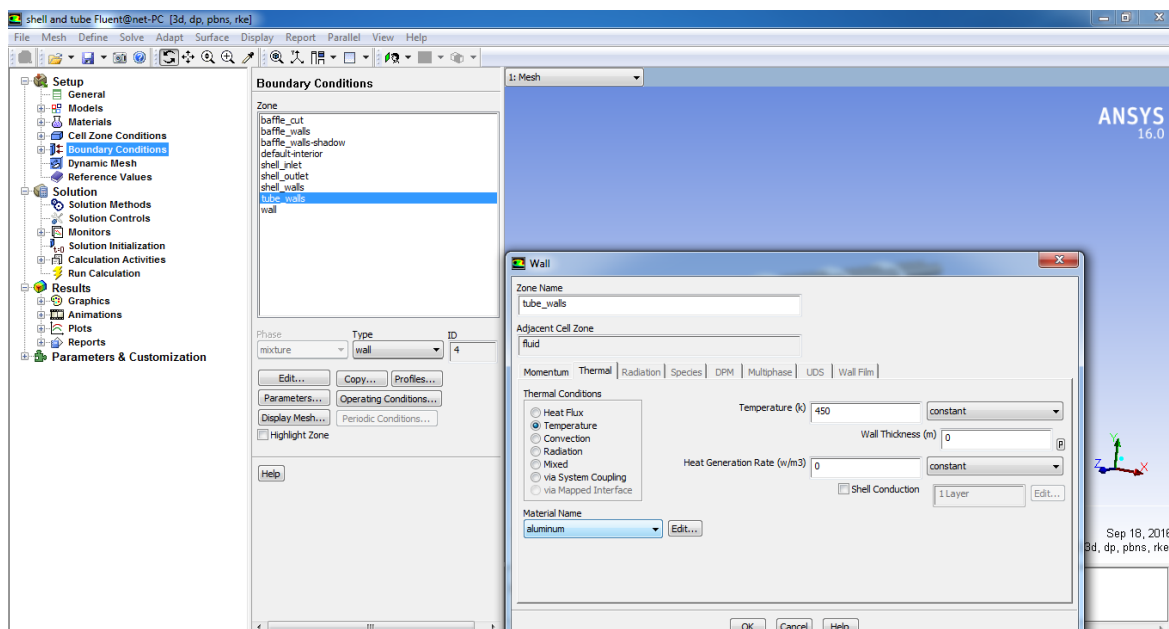
شکل (۴-۱۶) انتخاب شرط مرزی حرارتی دما ۳۰۰ کلین برای ورودی سمت پوسته

مرحله ۱۰: انتخاب شرایط مرزی عدم لغزش بر روی جداره خارجی لوله و تعیین زبری سطح



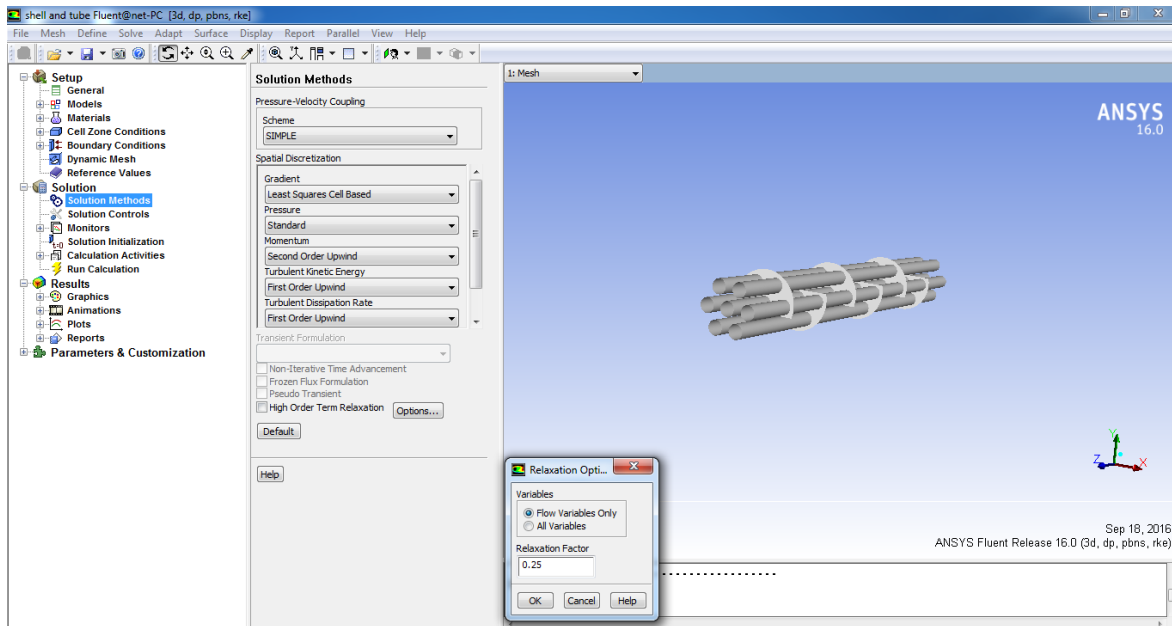
شکل (۴-۱۷) انتخاب شرایط مرزی عدم لغزش برای جداره خارجی لوله به همراه زبری سطح

مرحله ۱۱: انتخاب شرایط مرزی دما برای دسته لوله



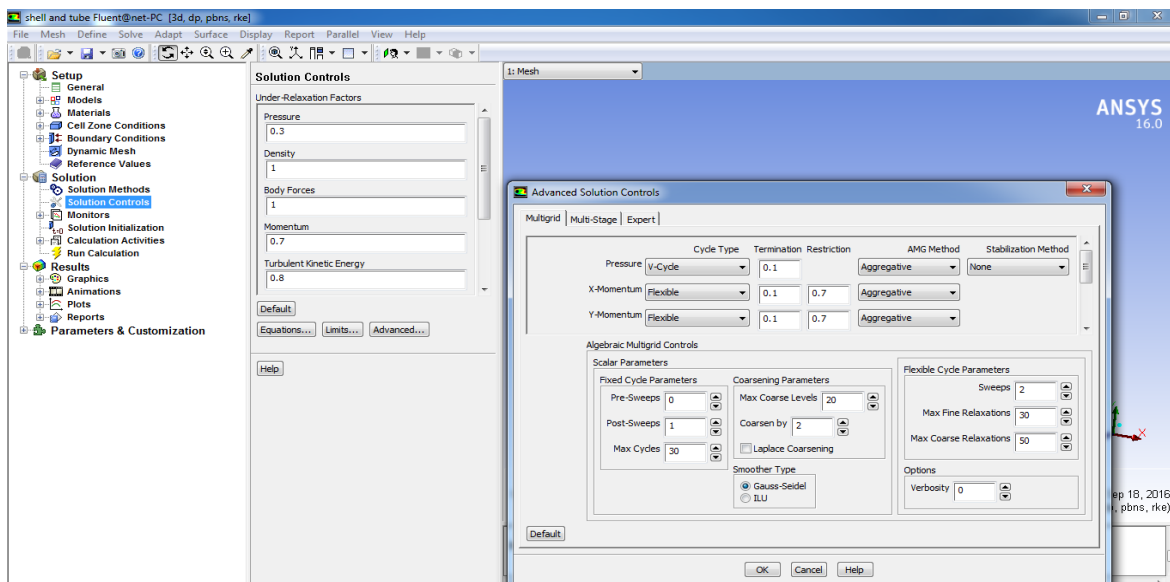
شکل (۴-۱۸) انتخاب شرایط مرزی دما برای دسته لوله

مرحله ۱۲: انتخاب solver نوع گسستگی و تنظیمات مرتبط



شکل (۴- ۱۹) Solver حل از نوع simple گسسته سازی فشار از نوع استاندارد گسسته سازی مومنتوم و جرم first order upwind

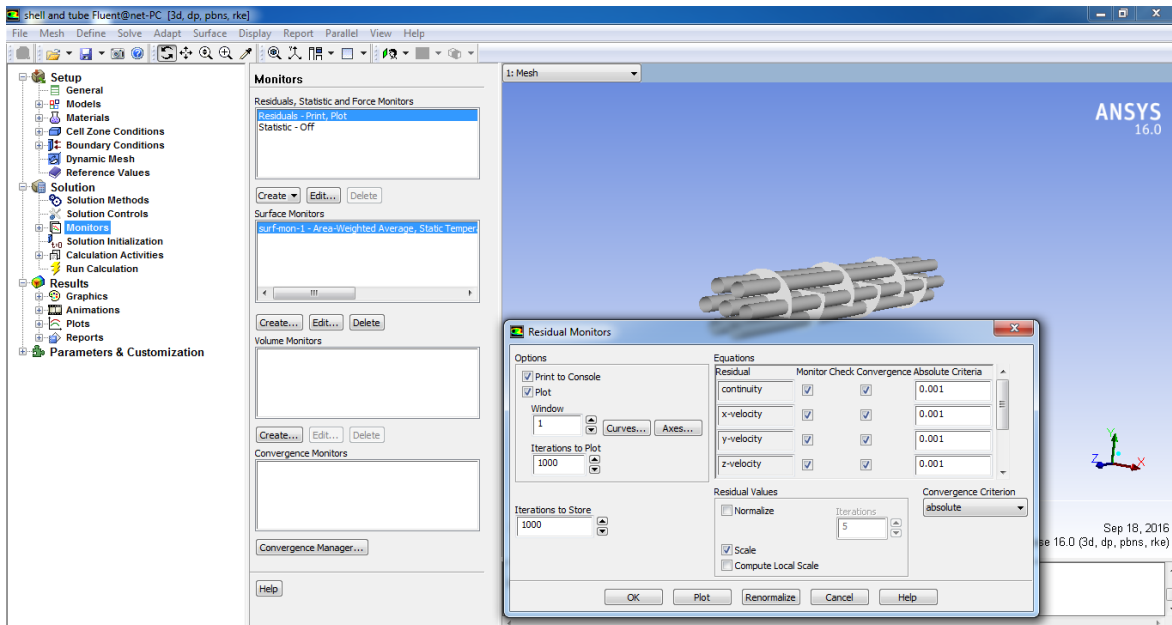
مرحله ۱۳: مقادیر منوی solution control بصورت پیش فرض در نظر گرفته میشود.



شکل (۴- ۲۰) منوی solution control بصورت

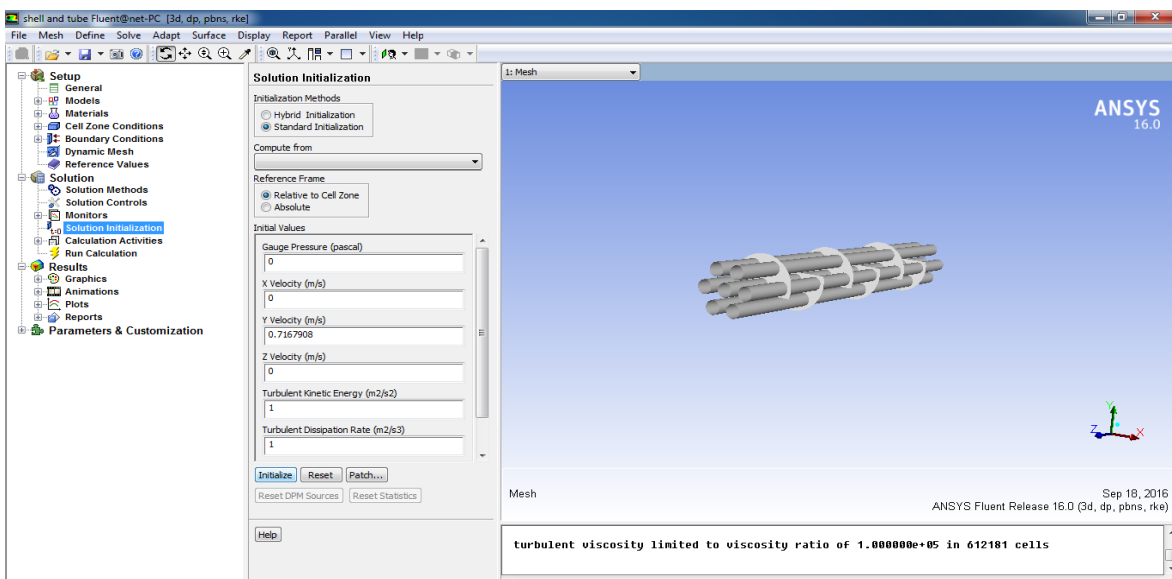
مرحله ۱۴ : تنظیم مقادیر residual برای معادلات پیوستگی مومنتوم و انرژی و

توربلانسی k و ϵ



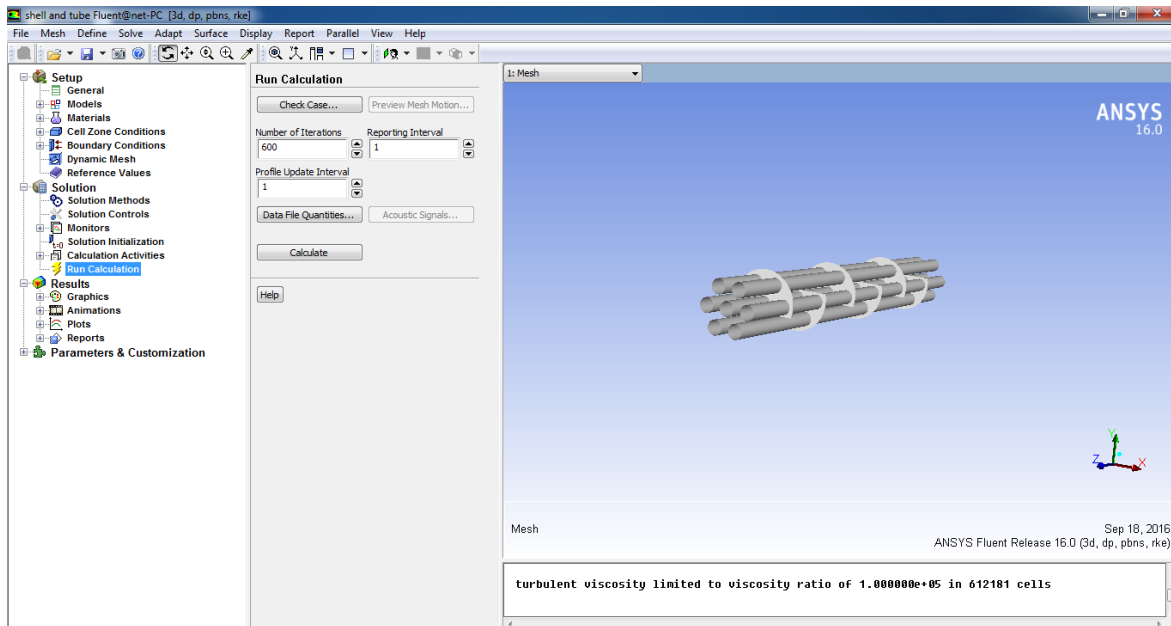
شکل (۴-۲۱) تنظیم مقادیر خطا برای همگرایی معادلات مومنتوم پیوستگی انرژی k و ϵ

مرحله ۱۵ : initialize کردن حل از کل ناحیه حل



شکل (۴-۲۲) Initialize کردن حل از کل ناحیه حل

مرحله ۱۶: اجرای برنامه run calculation



شکل (۴-۲۳) run calculation

فصل ۵ :

نتیجه گیری

۵-۱- صحنه سنجی نتایج

تمام شبیه سازی های صورت گرفته به کمک تکنیک دینامیک سیالات محاسباتی نیاز به اعتبار سنجی دارند بدین منظور نتایج حاصل از شبیه سازی در این تحقیق با نتایج روش بل دلاور (۵۲) مقایسه شد. پارامترهای مورد مقایسه شامل افت فشار و حرارت منتقل شده می باشد. مقایسه نشان میدهد نتایج بدست آمده از شبیه سازی با نتایج بل دلاور تطابق خوبی دارد و خطای شبیه سازی در حدود ۱۰ درصد می باشد جدول زیر ارزیابی اعتبار سنجی شبیه سازی به کمک تکنیک دینامیک سیالات محاسباتی را در مقایسه با نتایج بل دلاور نشان میدهد.

جدول (۵-۱) مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی شده در کار حاضر

دمای سیال خروجی (k)	حرارت منتقل شده (%)	نتایج بل دلاور نتایج کار حاضر (شبیه سازی) درصد خطا (%)
۳۷۱	۱۵۳/۴	
۳۶۳/۵	۱۳۴/۱	
٪ ۳	٪ ۱۳	

همان‌گونه که از جدول بالا مشخص است، نتایج شبیه سازی تطابق خوبی با نتایج بدست آمده از روش بل دلاور دارد (۵۲) خطای شبیه سازی دمای سیال خروجی و میزان انتقال حرارت به ترتیب در حدود ۳ و ۱۴ درصد می‌باشد. که این محدوده خطا قابل قبولی می‌باشد.

۵-۲- بررسی استقلال حل از شبکه محاسباتی

بررسی استقلال از شبکه^۱ بایستی برای هر گونه کد یا شبیه سازی عددی که به کمک تکنیک های دینامیک سیالات صورت می‌گیرد صورت گیرد. استقلال حل از شبکه به بیان ساده عبارت است از بررسی تعداد سلول‌های دامنه حل و نمایش عدم وابستگی نتایج به این شبکه است. به عبارتی بایستی برای دامنه حل، با تعداد سلول های مختلف حل عددی صورت گیرد و نشان داده شود که این حل برای تمام شبکه ها جوابی یکسان و نزدیک دارد و حل مورد نظر به تعداد شبکه وابستگی ندارد. مسلماً برای یک شبکه با مش خیلی درشت (سلولهای بزرگ) میزان خطاها بزرگ خواهد بود و حل بدست آمده برای میدان جریان نادرست، و وابسته به مش خواهد بود (اندازه مش بزرگ سبب افزایش خطای برش^۲ می‌شود. ریز کردن اندازه‌ی مش ها دقت جواب را افزایش می‌دهد و از یک اندازه خاص به بعد با ریزتر کردن مش تغییری در جواب حاصل نمی‌شود. دقت داشته باشید با ریز کردن بیش از اندازه‌ی مش‌ها، تعداد سلول‌ها افزایش می‌یابد و بالطبع خطای گرد افزایش می‌یابد و اثر نامطلوب بر حل خواهد داشت.

برای اطمینان از درستی حل ابتدا باید استقلال حل از شبکه صورت گیرد. متغیر افت فشار کل بمنظور بررسی عدم وابستگی حل به سائز شبکه انتخاب شد. * افت فشار کل مبدل را

^۱ Mesh independency

^۲ error trunction

برحسب تعداد سلول‌های شبکه نشان می‌دهد. برای مقایسه نتایج این جدول، * رسم شده است.

جدول (۵-۲) بررسی استقلال حل از شبکه محاسباتی

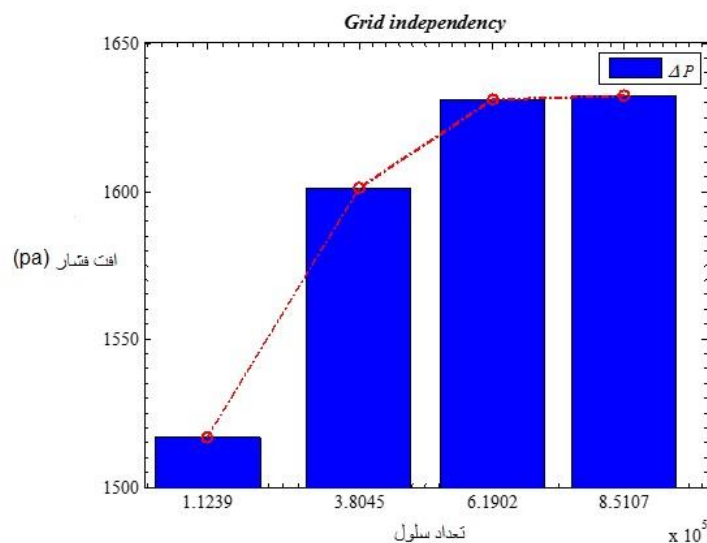
۱۱۲۳۹۴	۳۸۰۴۵۵	۶۱۹۰۲۱	۸۵۱۰۷۱	تعداد نودهای های شبکه
۱۵۱۷	۱۶۰۱	۱۶۳۱	۱۶۳۲/۲	افت فشار وردی تا خروجی

شکل (۵-۱) محور افقی تعداد سلول‌های شبکه و محور عمودی افت فشار کل در طول

مبدل را نشان می‌دهد با توجه به دقت مورد نیاز و هزینه‌های محاسباتی شبکه با تعداد

۶۱۹۰۲۱ سلول مناسب می‌باشد. بدیهی است افزایش تعداد مش (نودهای محاسباتی) سبب

افزایش حجم محاسبات شده و همچنین خطای ناشی از گرد کردن را افزایش خواهد رفت.



نمودار (۵ - ۱) مقدار افت فشار سیال خروجی برای ۴ اندازه مش مورد بررسی قرار گرفت برای شبکه با بیش از ۶۹۳۹۱۸ نود مقدار افت فشار تقریباً ثابت مانده و وابستگی به اندازه شبکه ندارد (استقلال حل از شبکه)

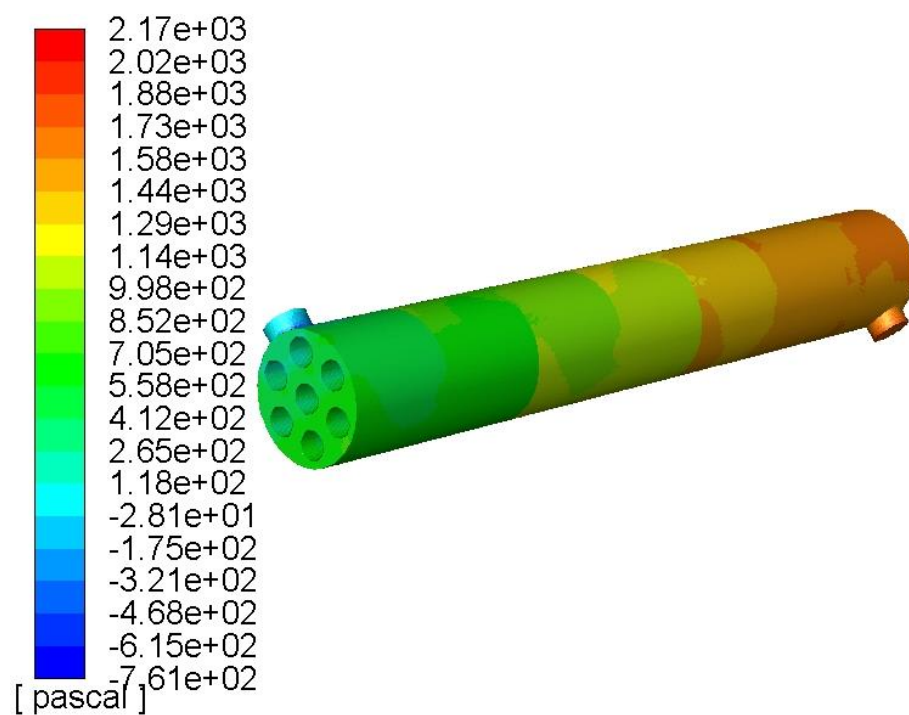
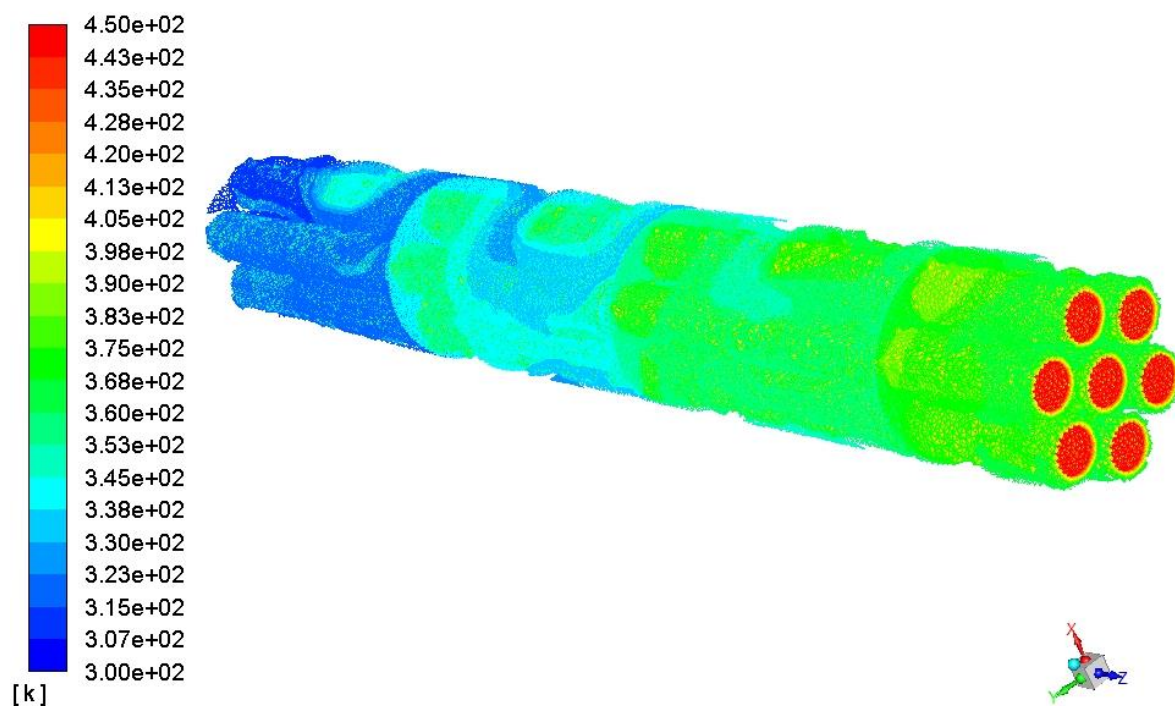
۵-۳- نتایج

بعد از رسم هندسه در نرم افزار گمبیت و مش زدن آن شبیه سازی به کمک نرم افزار انسیس فلوئنت ۱۶ انجام گرفت. بعد از بررسی عدم وابستگی حل به اندازه ی شبکه به اعتبار سنجی نتایج بدست آمده پرداختیم در ادامه نتایج بدست آمده بصورت کانتور (دما و فشار و ...)، بردار و گراف دو بعدی و همچنین بصورت خط مسیر (خط جریان جرمی، خط مسیر فشاری، خط مسیر دمایی) نمایش داده می شود پارامترهای خروجی نرم افزار شامل موارد بسیار متعدد می باشد که در این بخش به مهمترین آنها پرداخته می شود.

۵-۳-۱- کانتور دما

مطابق شکل زیر کانتور دما برای مبدل ترسیم شده است همان گونه که مشاهده می کنید دمای سیال ورودی به پوسته ۳۰۰ کلوین است با عبور از میان دسته لوله هایی که دمای آن ۴۵۰ کلوین است انتقال حرارت انجام میدهد و دمای خروجی سیال در قسمت خروجی پوسته تقریباً به ۳۷۰ درجه کلوین می رسد.

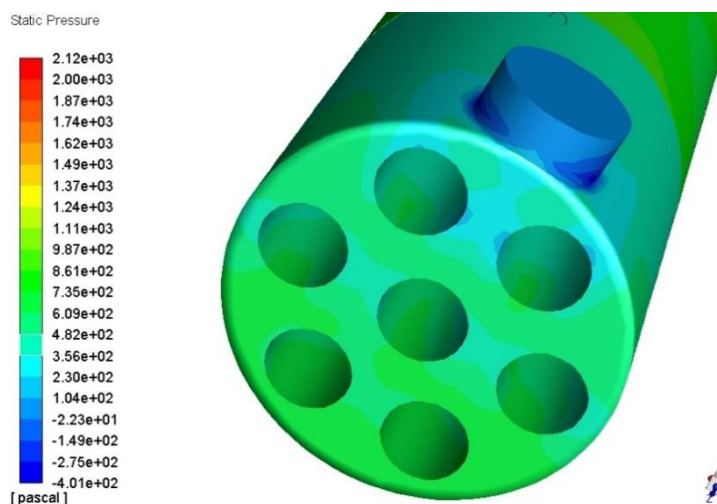
contour-1
Static Temperature



شکل (۵-۱) کانتور دما در طول مبدل بخش پوسته

۵-۳-۲- کانتور فشار

مطابق شکل زیر کانتور فشار برای مبدل ترسیم شده است همان گونه که مشاهده می کنید فشار سیال ورودی به پوسته با عبور از میان دسته لوله های و بافل ها افت پیدا کرده و روند نزولی دارد. تغییر مقطع جریان، عبور سیال از روی سطوح جامد زیر، برخورد جریان با دسته تیوب ها و آشفتگی جریان همگی افزایش افت فشار در سیال می گردد.

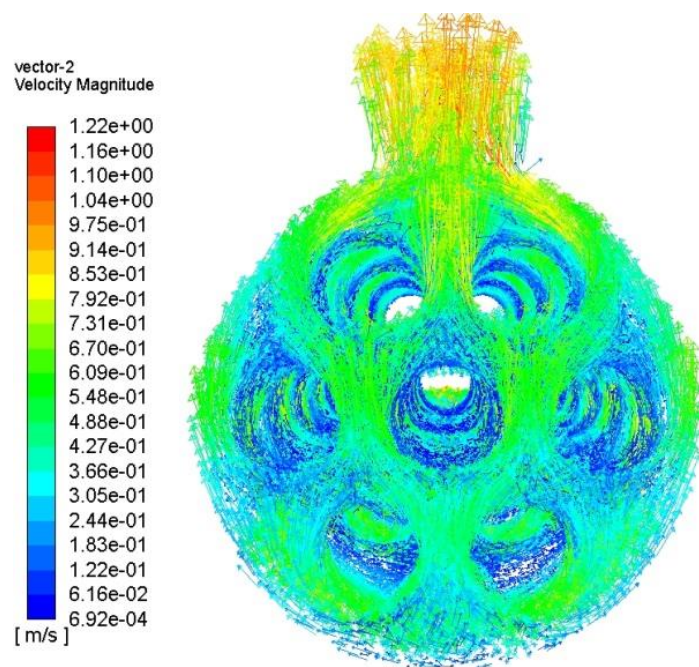
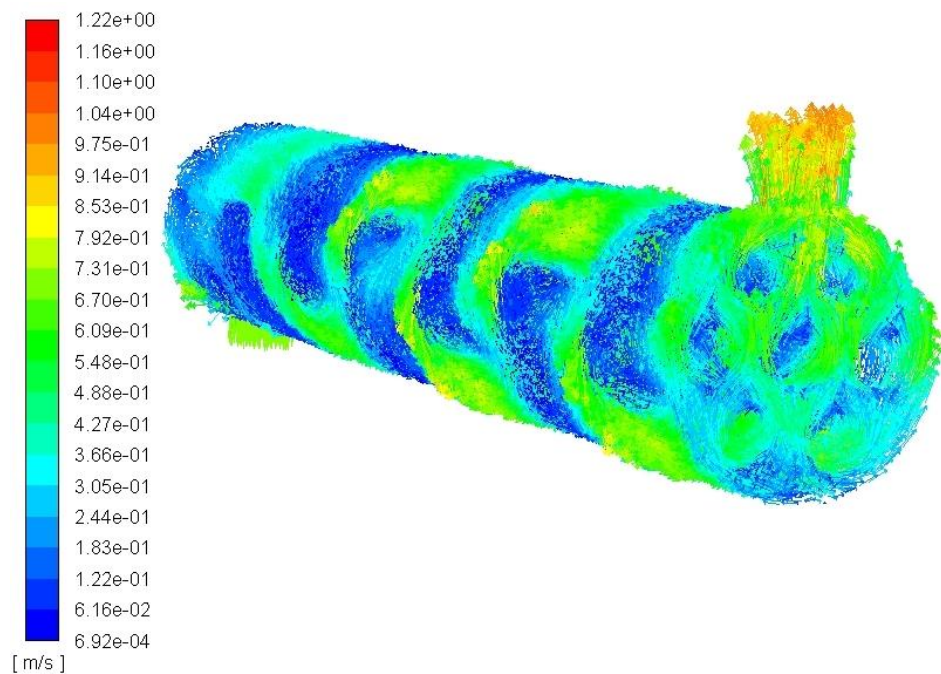


شکل (۵-۲) کانتور فشار استاتیک در طول پوسته

۵-۳-۳- بردارهای سرعت

بردارهای سرعت در کل ناحیه ی جریان سیال در شکل زیر رسم شده است. همانطور که مشاهده می کنید. تیوب ها مقطع عبور جریان سیال را تنگ تر می کند. تنگتر شدن مقطع عبور جریان سبب افزایش سرعت سیال می گردد. همچنین بافل ها با مسدود کردن نسبی

مسیر عبور جریان سبب افزایش سرعت جریان و زمان ماند سیال و افزایش انتقال حرارت می‌گردد.

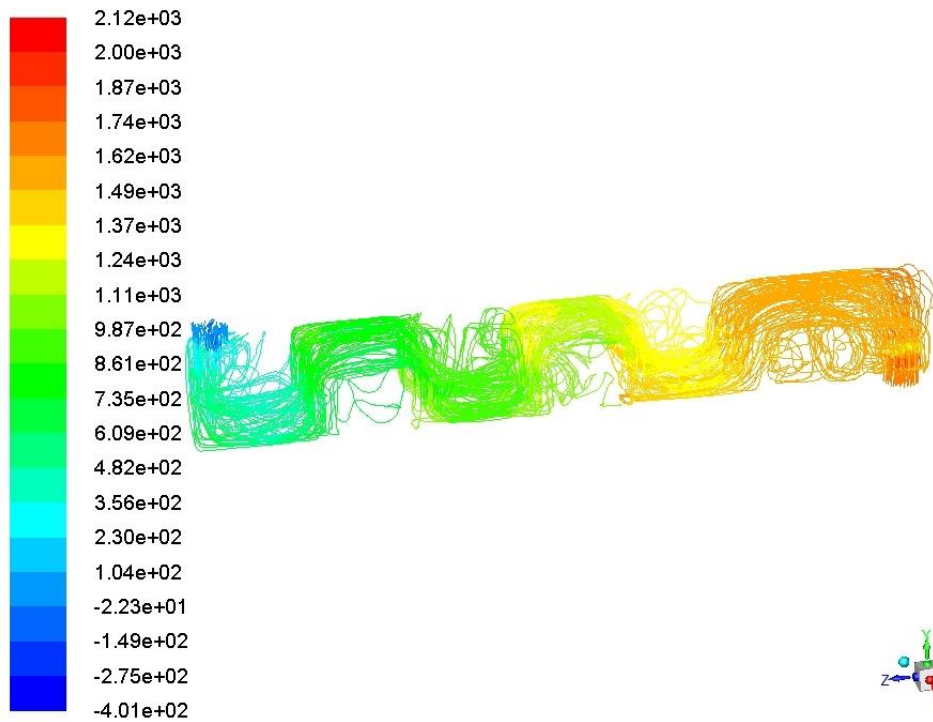


شکل (۳-۵) بردارهای سرعت در داخل پوسته از ورودی تا خروجی

۵-۳-۴- خطوط جریان فشار

در شکل زیر خطوط جریان فشار از ورودی پوسته تا خروجی نمایش داده شده

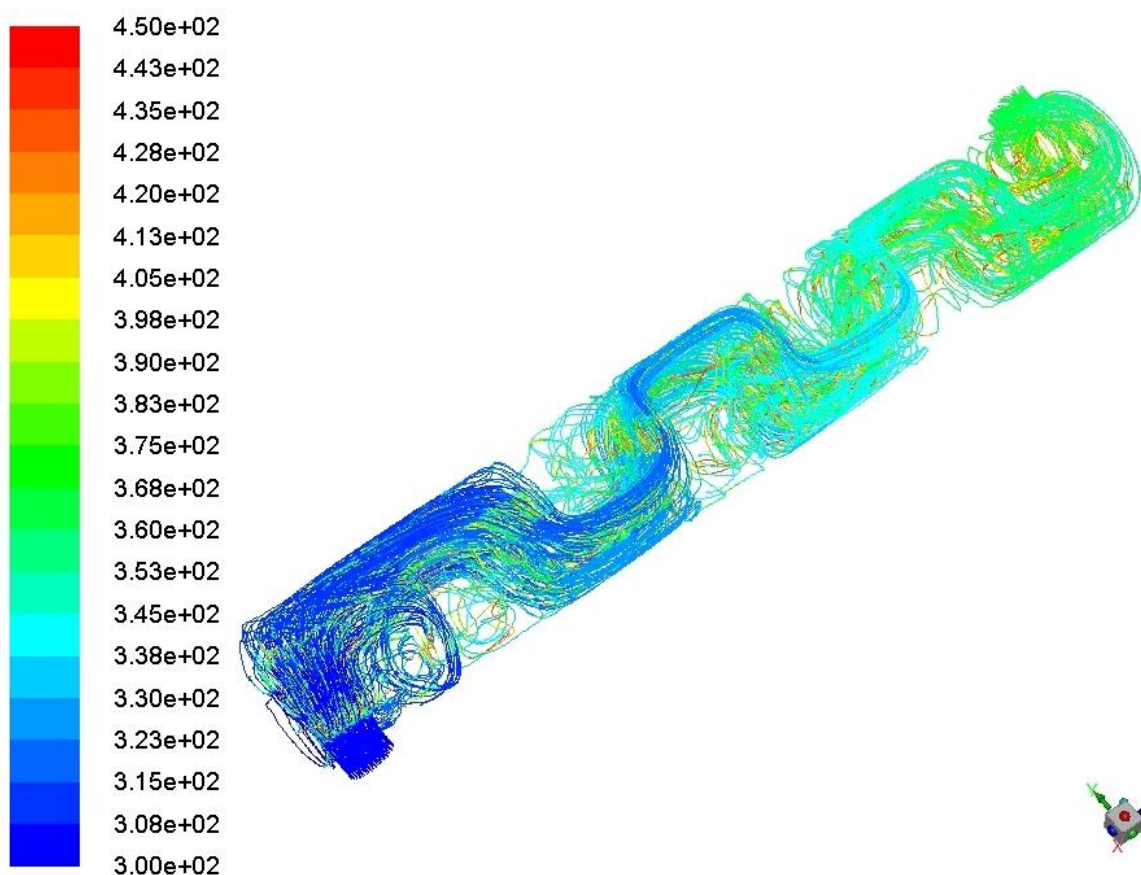
است .



شکل (۴-۵) خطوط جریان فشار (کاهش فشار از محل ورودی به پوسته تا محل خروجی از پوسته)

شکل (۵-۵) خطوط جریان فشار از نمای جانبی (کاهش فشار از محل ورودی به پوسته تا محل خروجی از پوسته)

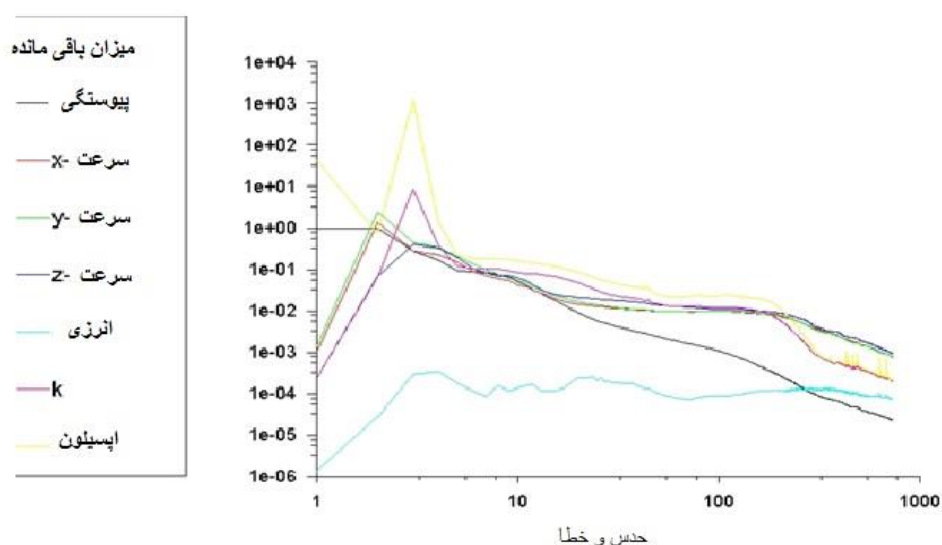
۵-۳-۵- خطوط جریان دما



شکل (۵-۶) خطوط جریان دما در طول پوسته

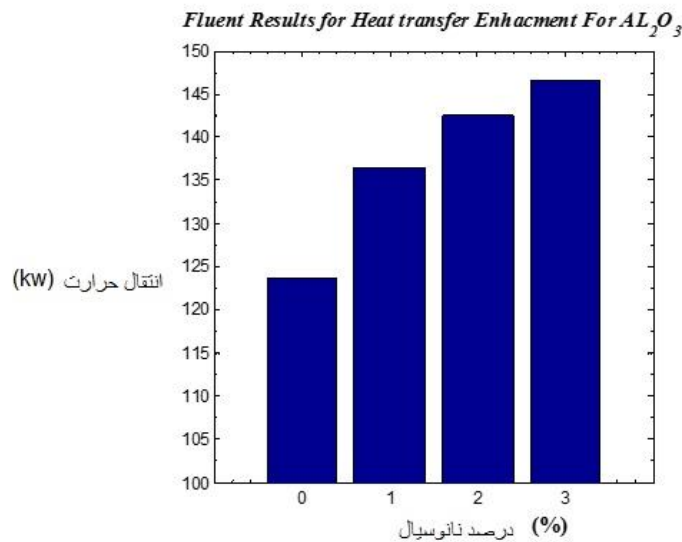
اضافه کردن ذرات نانو به سیال پایه سبب بهبود خواص حرارتی نانوسیال می شود به کارگیری نانوسیال در سمت پوسته باعث کاهش بیشتر دمای خروجی سیال سمت پوسته می شود در حالیکه میزان انتقال حرارت حتی افزایش داشته است. دلیل این امر، افزایش هدایت حرارتی سیال پایه می باشد و بالا رفتن ضریب جابجایی سمت پوسته می باشد. بنابراین استفاده

از نانوسیالات در مبدل‌های حرارتی، از نظر اقتصادی، زیست‌محیطی و همچنین صرفه‌جویی در انرژی کاملاً مقرون به صرفه می‌باشد. همچنین می‌توان ابعاد مبدل و هزینه ساخت آنرا کاهش داد. این در حالی است که افزودن این ذرات، تأثیر چندانی روی افت فشار نخواهد داشت. به عنوان نتیجه‌گیری دیگر از این پژوهش می‌توان به نقش موثر CFD جهت محاسبه پارامترهای مهم خروجی مانند میزان انتقال حرارت، توزیع دما در سراسر میدان جریان ضریب انتقال حرارت جابجایی اجباری، میزان افت فشار اشاره کرد. در این راستا، این اطلاعات به طراحان جهت طراحی بهینه مبدل‌های حرارتی می‌تواند کمک شایانی کند.

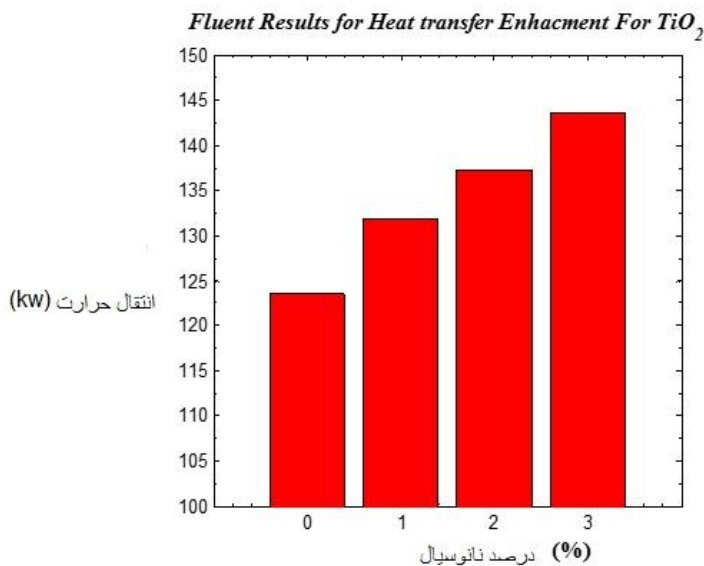


نمودار (۵ - ۲) خطای **residual** در حل معادلات پیوستگی، مومنتوم، انرژی و توربلانس در این پژوهش شبیه سازی برای چهار نانو ذره مختلف (اکسید مس، اکسید آلومنیوم، اکسید سیلیسیوم، اکسید تیتانیوم) هر کدام برای سه درصد نانو سیال ۱-۲-۳ درصد حجمی انجام گرفت نتایج حاصله در ادامه به اختصار آورده شده است. همان‌گونه نتایج نشان

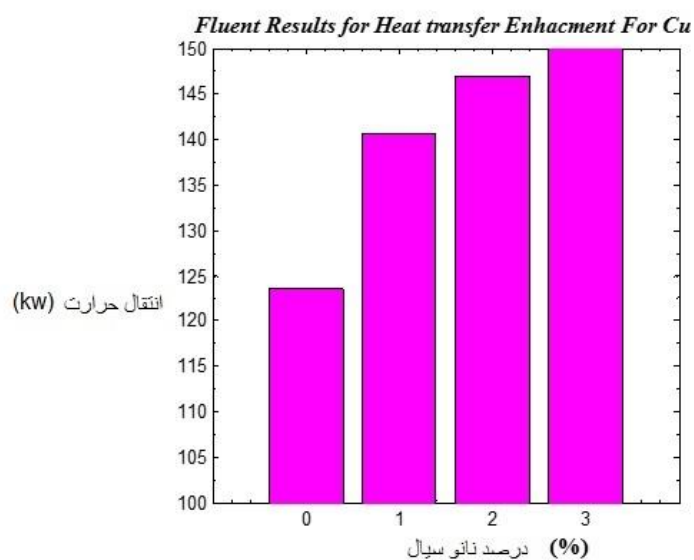
می‌دهد. افزودن اندکی نانوذره آلومینا در حدود ۱٪ حجمی به سیال پایه، سبب افزایش چشمگیری در نرخ انتقال حرارت می‌شود. این افزایش انتقال حرارت تا حد زیادی میتواند ساینز مبدلها و هزینه ساخت آنها را کاهش دهد.



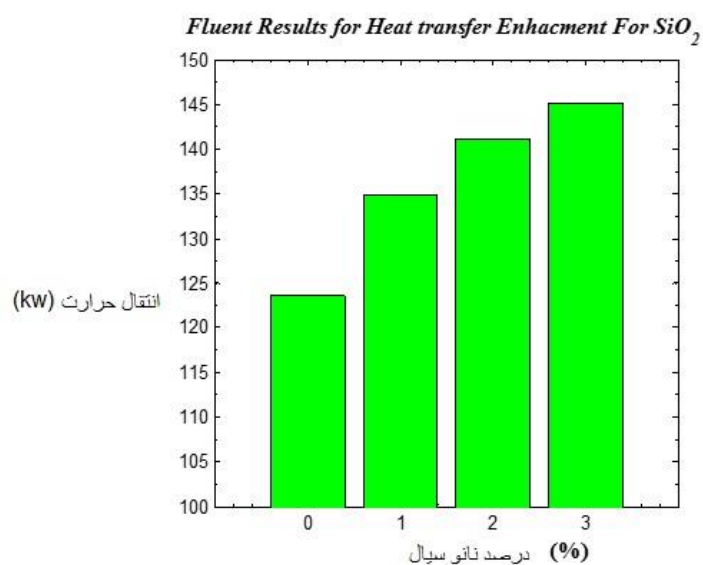
نمودار (۵ - ۳) انتقال حرارت سیال سمت پوسته با جداره لوله برای سه درصد نانو سیال اکسید آلومینیوم



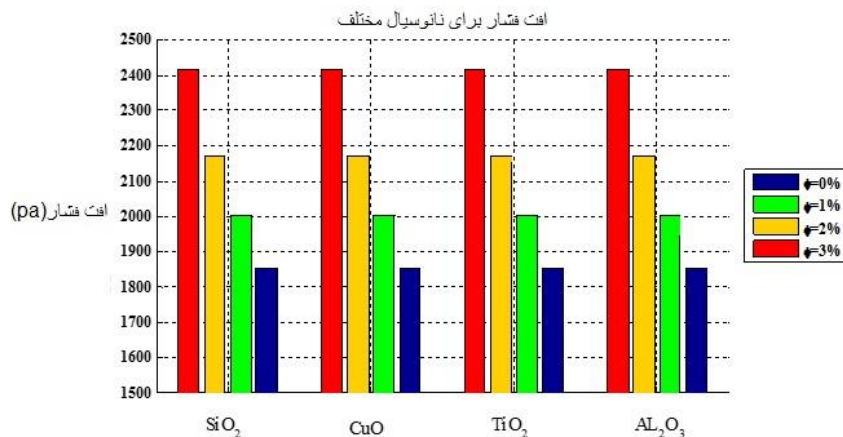
نمودار (۵ - ۴) انتقال حرارت سیال سمت پوسته با جداره لوله برای سه درصد نانو سیال اکسید تیتانیوم



نمودار (۵ - ۵) انتقال حرارت سیال سمت پوسته با جداره لوله برای سه درصد نانو سیال اکسید مس



نمودار (۵ - ۶) انتقال حرارت سیال سمت پوسته با جداره لوله برای سه درصد نانو سیال اکسید سیلیسیم



نمودار (۵-۷) نمودار افت فشار مبدل برای سه نانو سیال با غلظت های مختلف

۵-۴- بحث و نتیجه گیری

نانو سیالات نسل جدیدی از سیالات با پتانسیل بسیار زیاد در کاربردهای صنعتی هستند. در نانوسیالات به علت کوچک بودن ذرات به مقدار زیادی خوردگی، ناخالصی و مشکلات افت فشار کاهش پیدا کرده و پایداری سیالات در مقابل رسوب گذاری بهبود چشمگیری یافت است. بکارگیری نانوذرات در تجهیزات انتقال حرارت، سبب بهبود راندمان مبدل می شود. نتایج این پژوهش نشان داد اضافه کردن نانوذرات به آب، تأثیر زیادی بر روی خواص حرارتی سیال از جمله ضریب هدایت حرارتی دارد. در حالیکه تأثیر زیادی بر روی ویسکوزیته و افت فشار ندارد.

اضافه کردن نانو ذرات سبب بالا رفتن ضریب انتقال حرارت جابجایی شده و مساحت مورد نیاز مبدل را جهت انتقال میزان مشخصی از حرارت کم میکند. اضافه کردن ۱٪ حجمی نانوذرات افزایش نرخ انتقال حرارت به اندازه ۱۱ درصد می گردد. بمنظور شبیه سازی سه

بعدی جریان نانو سیال از نرم افزار انسیس فلوئنت ورژن ۱۶ استفاده شد. در این تحقیق از مدل توربلانسی $k - \varepsilon$ به دلیل سرعت بالای همگرایی و دقت مناسب استفاده شد نتایج شبیه سازی تطابق خوبی با نتایج بدست آمده از روش بل دلاور نشان می دهد. در غلظت های اندک نانوذرات، و نرخ انتقال حرارت کلی و دمای سیال خروجی محاسبه شده از مدل بل دلاور و شبیه سازی نرم افزاری، تطابق خوبی با یکدیگر دارند. مطابق نتایج بدست آمده اختلاف نتایج شبیه سازی فلوئنت با نتایج بیش بینی شده توسط بل-دلاور برای نرخ انتقال حرارت و دمای سیال خروجی به ترتیب در حدود ۱۳ و ۴ درصد می باشد.

۵-۵- بحث و بررسی

در این پژوهش شبیه سازی انتقال حرارت برای سه کسر حجمی و ۴ نوع نانو ذره مختلف انجام شد نتایج با روش بل دلاور مقایسه شد . در انتها میزان کسر حجمی نانو ذرات و نوع نانوذرات بر میزان انتقال حرارت و افت فشار بررسی گردید. با افزایش درصد حجمی نانو ذره میزان نرخ انتقال حرارت افزایش می یابد. میزان افزایش انتقال حرارت با توجه به نوع نانو ذره متفاوت است. برای درصد حجمی یک درصد نانو، بیشترین افزایش انتقال حرارت برای اکسید مس برابر با ۱۶ درصد و کمترین مربوط به اکسید تیتانیوم و برابر با ۹ درصد می باشد . برای کسر حجمی ۳ درصد میزان افزایش ضریب انتقال حرارت برای اکسید مس ۲۴ درصد و برای اکسید تیتانیوم ۱۴ درصد می باشد. با افزایش کسر حجمی میزان افت فشار تقریباً به نوع نانو ذره بستگی ندارد ولیکن به غلظت آن وابسته است. نتایج شبیه سازی نشان داد میزان افت فشار در حدود ۶۰۰ پاسگال به ازای سه درصد حجمی نانو ذره می باشد.

مراجع

مراجع:

- (١) Kakaç, S., Bergles, A. E., Mayinger, F., and Yuncu, H., Heat transfer enhancement of heat exchangers, vol. ٣٥٥, Springer, ١٩٩٩, ٣٥٥, Springer, ١٩٩٩.
- (٢) https://en.wikipedia.org/wiki/Shell_and_tube_heat_exchanger
- (٣) Webb, R. L., Principles of enhanced heat transfer, John Wiley & Sons, New York, ١٩٩٤.
- (٤) Choi, S. U. S. and Eastman, J. A., Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, ١٩٩٥.
- (٥) Pak, B. C. and Cho, Y. I., "HYDRODYNAMIC AND HEAT TRANSFER STUDY OF DISPERSED FLUIDS WITH SUBMICRON METALLIC OXIDE PARTICLES", Experimental Heat Transfer, vol. ١١(٢), pp. ١٥١-١٧٠, ١٩٩٨/٠٤/٠١ ١٩٩٨.
- (٦) Khanafer, K. and Vafai, K., "A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids", International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. ٥٤(١٩-٢٠), pp. ٤٤١٠-٤٤٢٨, ٢٠١١.
- (٧) 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. ٤٩(٨), pp. ١٣٤٥-١٣٥٣, ٢٠١٠.
- (٨) Vajjha, R. S., Das, D. K., and Kulkarni, D. P., "Development of new correlations for convective heat transfer and friction factor in turbulent regime for nanofluids", International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. ٥٣(٢١-٢٢), pp. ٤٦٠٧-٤٦١٨, ٢٠١٠.

- (٩) Lotfi, R., Saboohi, Y., and Rashidi, A. M., "Numerical study of forced convective heat transfer of Nanofluids: Comparison of different approaches", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. ٣٧(١), pp. ٧٤-٧٨, ٢٠١٠.
- (١٠) J. Sarkar, A critical review on convective heat transfer correlations of nanofluids, *Renew. Sustain. Energy Rev.* ١٥ (٢٠١١) ٣٢٧١-٣٢٧٧.
- (١١) U.S. Choi, J.A. Eastman, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, in: *ASME International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, San Francisco, CA, ١٩٩٥.
- (١٢) Keblinski, P., Phillpot, S.R., Choi, S.U.S. and Eastman, J.A., ٢٠٠٢. Mechanisms of heat flow in suspensions of nano-sized particles (nanofluids) *International journal of heat and mass transfer*, ٤٥(٤), pp. ٨٥٥-٨٦٣.
- (١٣) Sridhara, V. and Satapathy, L.N., ٢٠١١. Al ٢ O ٣-based nanofluids: a review *Nanoscale research letters*, ٦(١), p.١.
- (١٤) Godson, L., Raja, B., Lal, D.M. and Wongwises, S., ٢٠١٠. Enhancement of heat transfer using nanofluids—an overview *Renewable and sustainable energy reviews*, ١٤(٢), pp. ٦٢٩-٦٤١.
- (١٥) Yu, W., France, D.M., Choi, S.U.S. and Routbort, J.L., ٢٠٠٧ *Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications* (No. ANL/ESD/٠٧-٩). Argonne National Laboratory (ANL).
- (١٦) Saidur, R., Leong, K.Y. and Mohammad, H.A., ٢٠١١. A review on applications and challenges of nanofluids *Renewable and sustainable energy reviews*, ١٥(٣), pp. ١٦٤٦-١٦٦٨.
- (١٧) Natarajan, E. and Sathish, R., ٢٠٠٩. Role of nanofluids in solar water heater *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, pp. ١-٥.

- (۱۸) Heris, S.Z., Esfahany, M.N. and Etemad, S.G., ۲۰۰۷. Experimental investigation of convective heat transfer of Al₂O₃/water nanofluid in circular tube *International Journal of Heat and Fluid Flow*, ۲۸(۲), pp.۲۰۳-۲۱۰.
- (۱۹) Pak, B.C. and Cho, Y.I., ۱۹۹۸. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles *Experimental Heat Transfer an International Journal*, ۱۱(۲), pp.۱۵۱-۱۷۰.
- (۲۰) Sommers, A.D. and Yerkes, K.L., ۲۰۱۰. Experimental investigation into the convective heat transfer and system-level effects of Al₂O₃-propanol nanofluid *Journal of Nanoparticle Research*, ۱۲(۳), pp.۱۰۰۳-۱۰۱۴.
- (۲۱) Wen, D. and Ding, Y., ۲۰۰۴. Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions *International journal of heat and mass transfer*, ۴۷(۲۴), pp.۵۱۸۱-۵۱۸۸.
- (۲۲) Xuan, Y. and Li, Q., ۲۰۰۳. Investigation on convective heat transfer and flow features of nanofluids *Journal of Heat transfer*, ۱۲۵(۱), pp.۱۵۱-۱۵۵.
- (۲۳) Maïga, S.E.B., Nguyen, C.T., Galanis, N. and Roy, G., ۲۰۰۴. Heat transfer behaviours of nanofluids in a uniformly heated tube *Superlattices and Microstructures*, ۳۵(۳), pp.۵۴۳-۵۵۷.
- (۲۴) Fard, M.H., Esfahany, M.N. and Talaie, M.R., ۲۰۱۰. Numerical study of convective heat transfer of nanofluids in a circular tube two-phase model versus single-phase model *International Communications in Heat and Mass Transfer*, ۳۷(۱), pp.۹۱-۹۷.
- (۲۵) Lotfi, R., Saboohi, Y. and Rashidi, A.M., ۲۰۱۰. Numerical study of forced convective heat transfer of nanofluids: comparison of different approaches *International Communications in Heat and Mass Transfer*, ۳۷(۱), pp.۷۴-۷۸.

(۲۶)Ahmad, T., Plee, S.L. and Myers, J.P., ۲۰۱۰. FLUENT Theory Guide .
ANSYS Inc.

(۲۷)Kalteh, M., Abbassi, A ,Saffar-Avval, M. and Harting, J., ۲۰۱۱.
Eulerian–Eulerian two-phase numerical simulation of nanofluid laminar
forced convection in a microchannel *International journal of heat and fluid
flow*, ۳۲(۱) ,pp.۱۰۷-۱۱۶.

(۲۸)Heris, S.Z., Etemad, S.G and Esfahany, M.N., ۲۰۰۶. Experimental
investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer .
International Communications in Heat and Mass Transfer, ۳۳(۲) ,pp.۵۲۹-
۵۳۵.

(۲۹)Xuan, Y. and Roetzel, W., ۲۰۰۰. Conceptions for heat transfer
correlation of nanofluids *International Journal of heat and Mass transfer*,
۴۳(۱۹) ,pp.۳۷۰۱-۳۷۰۷.

(۳۰)Mokmeli, A. and Saffar-Avval, M., ۲۰۱۰. Prediction of nanofluid
convective heat transfer using the dispersion model *International Journal
of Thermal Sciences* ,۴۹(۳) ,pp.۴۷۱-۴۷۸.

(۳۱)Özering, S., Yazıcıoğlu ,A.G. and Kakaç, S., ۲۰۱۲. Numerical analysis
of laminar forced convection with temperature-dependent thermal
conductivity of nanofluids and thermal dispersion *International Journal of
Thermal Sciences*, ۶۲ ,pp.۱۳۸-۱۴۸.

(۳۲)Moraveji, M.K., Darabi ,M., Haddad, S.M.H. and Davarnejad, R., ۲۰۱۱.
Modeling of convective heat transfer of a nanofluid in the developing
region of tube flow with computational fluid dynamics *International
communications in heat and mass transfer*, ۳۸(۹), pp.۱۲۹۱-۱۲۹۵.

(۳۳)Mirmasoumi, S. and Behzadmehr, A., ۲۰۰۸. Numerical study of laminar
mixed convection of a nanofluid in a horizontal tube using two-phase
mixture model *Applied Thermal Engineering*, ۲۸(۷) , pp.۷۱۷-۷۲۷.

- (۳۴) Bianco, V., Chiacchio, F., Manca, O. and Nardini, S., ۲۰۰۹. Numerical investigation of nanofluids forced convection in circular tubes *Applied Thermal Engineering*, ۲۹(۱۷) ,pp.۳۶۳۲-۳۶۴۲.
- (۳۵) Akbari, M., Galanis, N. and Behzadmehr, A., ۲۰۱۱. Comparative analysis of single and two-phase models for CFD studies of nanofluid heat transfer *International Journal of Thermal Sciences*, ۵۰(۸) ,pp.۱۳۴۳-۱۳۵۴.
- (۳۶) Xuan, Y. and Li, Q., ۲۰۰۰. Heat transfer enhancement of nanofluids . *International Journal of heat and fluid flow*, ۲۱(۱) , pp.۵۸-۶۴.
- (۳۷) Hamilton, R.L. and Crosser, O.K., ۱۹۶۲. Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems *Industrial & Engineering chemistry fundamentals*, ۱(۳), pp.۱۸۷-۱۹۱.
- (۳۸) Chon, C.H., Kihm, K.D., Lee, S.P. and Choi, S.U., ۲۰۰۵. Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al₂O₃) thermal conductivity enhancement *Applied Physics Letters*, ۸۷(۱۵), p.۳۱۰۷.
- (۳۹) C.H. Chon, K.D. Kihm, S.P. Lee, S.U.S. Choi, Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nano fluid (Al₂O₃) thermal conductivity enhancement, *Appl. Phys. Lett.* ۸۷ (۲۰۰۵).
- (۴۰) S.E.B. Maiga, C.T. Nguyen, N. Galanis, G. Roy, Heat transfer behaviours of nano fluids in a uniformly heated tube, *Superlattices Microstruct.* ۳۵ (۲۰۰۴) ۵۴۳e۵۵۷.
- (۴۱) Y.M. Xuan, W. Roetzel, Conceptions for heat transfer correlation of nano fluids, *Int. J. Heat Mass Transf.* ۴۳ (۲۰۰۰) ۳۷۰۱e۳۷۰۷.
- (۴۲) A. Mokmeli, M. Saffar-Avval, Prediction of nano fluid convective heat transfer using the dispersion model, *Int. J. Therm. Sci.* ۴۹ (۲۰۱۰) ۴۷۱e۴۷۸.

(۴۳) <http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/noder۳۶۲.htm#eq۱۳,۷,۳>

(۴۴) Ender Ozden, Ilker Tari, Shell Side CFD Analysis of A Small Shell And Tube Heat Exchanger, Middle East Technical University, ۲۰۱۰.

(۴۵) امید توحیدی، ۱۳۹۲. راهنمای جامع انسیس فلوئنت، انتشارات موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران.

(۴۶) Drew, D.A. and Passman, S.L., ۲۰۰۶. *Theory of multicomponent fluids* (Vol. ۱۳۵). Springer Science & Business Media.

(۴۷) Wang, X., Xu, X. and S. Choi, S.U., ۱۹۹۹. Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture *Journal of thermophysics and heat transfer* , (۴) ۱۳ pp. ۴۷۴-۴۸۰.

(۴۸) Buongiorno, J., ۲۰۰۶. Convective transport in nanofluids *Journal of Heat Transfer*, ۱۲۸ (۳), pp. ۲۴۰-۲۵۰.

(۴۹) Das, S.K., Choi, S.U. and Patel, H.E., ۲۰۰۶. Heat transfer in nanofluids—a review *Heat transfer engineering* , (۱۰) ۲۷, pp. ۳-۱۹.

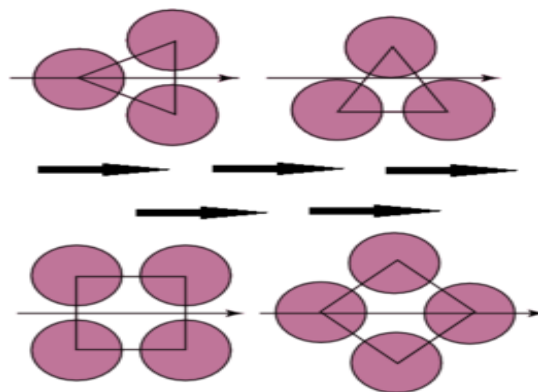
(۵۰) Yu, W. and Choi, S.U.S. ۲۰۰۳, The role of interfacial layers in the enhanced thermal conductivity of nanofluids: a renovated Maxwell model . *Journal of Nanoparticle Research*, ۵ (۲-۱), pp. ۱۶۷-۱۷۱.

(۵۱) Xuan, Y. and Roetzel, W., ۲۰۰۰. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids *International Journal of heat and Mass transfer*, ۴۳ (۱۹), pp. ۳۷۰۱-۳۷۰۷.

(۵۲) Kern, D.Q., ۱۹۵۰. *Process heat transfer* .Tata McGraw-Hill Education.

پیوست

شکل شماتیک زیر هم دو نوع آرایش مثلثی و مربعی در مبدل های پوسته لوله را نشان می دهد.



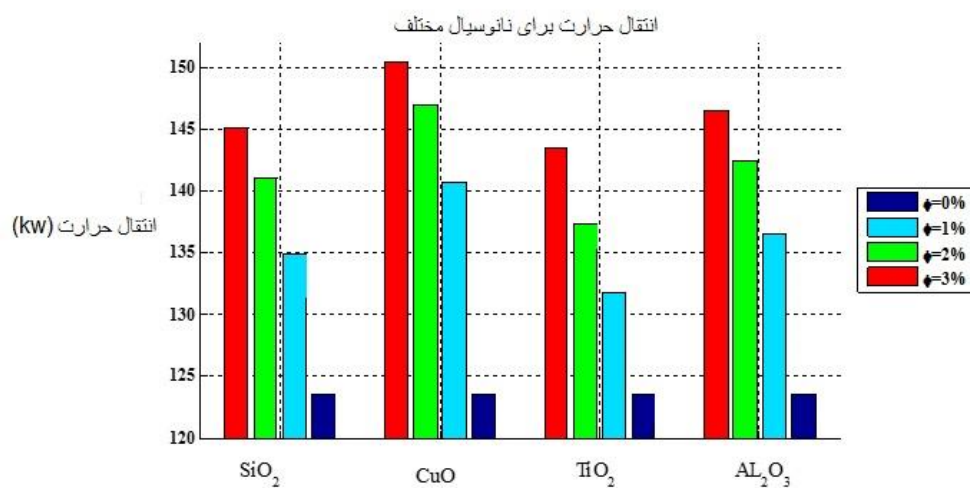
آرایش مثلثی و مربعی در مبدل پوسته لوله



مبدل گرمایی پوسته-لوله که آرایش لوله های آن بصورت مثلثی است.

نتایج شبیه سازی ۴ نانو سیال در سه درصد حجمی بصورت مقایسه ای در زیر آورده

شده است.



بررسی مقایسه ای چهار نانو سیال در سه درصد حجمی مختلف (نتایج بدست آمده از حل فلوئنت)

ABSTRACT

Use of nano hybrid fluids in heat exchangers using fluent software

Traditional fluids used in heat exchangers are mainly water, ethylene glycol and oil. The heat transfer function of the traditional fluid is low, which also results in lower heat transfer efficiency. In order to enhance the thermal conductivity of the traditional fluids and the heat transfer characteristics, solid particles are dispersed in suspended solids in the nanoscale in the base fluid in heat exchangers. The addition of particles in the base fluid improves the thermal conductivity because the thermal conductivity of the solid particles of the metal is higher than the base fluid. The researchers tested the new heat transfer fluid by scattering nano particles with a diameter of less than 100 nm on the base of the body under the name of a nanosilver. The heat transfer coefficient increases with increasing thermal conductivity. In this study, the three dimensional geometry of a real converter in the industry is plotted in a three dimensional drawing software, then it will be meshed with gambit software. The mesh file is represented by the ansys_fluent software of the three dimensional simulator, in other words, by using the dynamics of computational fluids to the three dimensional and turbulent simulator of the current inside the converter. Then, we will study and compare the heat transfer and pressure drop and also plot the flow pattern for the four different types of nanofluid compared to the base state in a shell converter. Nanosilanes are oxides of oxide and silicon oxide.

Adding nanoparticles increases the transfer heat transfer coefficient and reduces the area needed for the transfer of a certain amount of heat. Adding a 1 percent volume of nanoparticles to an increase in the heat transfer rate of 11 percent. In order to simulate the nanosilver's three dimensional flow, ansys fluent software version 16 was used.



Energy Institute For Higher Education
Faculty Of Engineering
Department Of Energy Systems Engineering-Energy Systems
Thesis For
Degree Of Master Of Science (M.Sc)

Title:

Use Of Nano Hybrid Fluids In Heat Exchangers Using Fluent Software

Supervisor:

Dr Yousef Yassi
Dr Heydar Maddah

By:

Rougieh Palangi

Summer Of ۱۳۹۶