



دانشگاه صنعتی اصفهان (B Nazanin 10 Regular)

دانشکده مهندسی مکانیک (B Nazanin 14 Regular)

بررسی عددی افزایش انتقال حرارت در جریان نانوسیال

داخل لوله‌های سینوسی (B Nazanin 16 Bold)

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - تبدیل انرژی (B Nazanin 16 Regular)

نام دانشجو (B Nazanin 12 Bold)

استاد راهنما (B Nazanin 14 Regular)

نام و نام خانوادگی استاد راهنما (B Nazanin 12 Bold)

۱۳۹۸ (B Nazanin 10 Bold)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان (B Nazanin 10 Bold)

دانشکده مهندسی مکانیک (B Nazanin 14 Regular)

بررسی عددی افزایش انتقال حرارت در جریان نانوسیال

داخل لوله‌های سینوسی (B Nazanin 16 Bold)

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی (B Nazanin 16 Regular)

نام دانشجو (B Nazanin 12 Bold)

استاد راهنما (B Nazanin 14 Regular)

نام و نام خانوادگی استاد راهنما (B Nazanin 12 Bold)



دانشگاه صنعتی اصفهان (B Nazanin 10 Bold)

دانشکده مهندسی مکانیک (B Nazanin 14 Regular)

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی
آقای.....

تحت عنوان (B Nazanin 16 Regular)

بررسی عددی افزایش انتقال حرارت در جریان نانوسیال داخل لوله‌های سینوسی (B Nazanin 14 Bold)

در تاریخ ۹۹/۱۰/۳۰ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت. (B Nazanin 12)

(Regular)

- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| دکتر نام و نام خانوادگی | ۱- استاد راهنمای پایان نامه |
| دکتر نام و نام خانوادگی | ۲- استاد مشاور پایان نامه |
| دکتر نام و نام خانوادگی | ۳- استاد داور |
| دکتر نام و نام خانوادگی | ۴- استاد داور |
| دکتر نام و نام خانوادگی | سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده |

صفحه تشکر و قدردانی (آوردن این صفحه اختیاری است)

کلیه حقوق مالکیت مادی و معنوی مربوط به این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان و پدیدآورندگان است. این حقوق توسط دانشگاه صنعتی اصفهان و بر اساس خط مشی مالکیت فکری این دانشگاه، ارزش گذاری و سهم بندی خواهد شد. هر گونه بهره برداری از محتوا، نتایج یا اقدام برای تجاری سازی دستاوردهای این پایان نامه تنها با مجوز کتبی دانشگاه صنعتی اصفهان امکان پذیر است. (B Nazanin 16 Regular)

صفحه تقدیم اثر (آوردن این صفحه اختیاری است)

چکیده

در این قسمت کارهای انجام شده و نتایج بدست آمده در تحقیق بطور مختصر همراه با ۴ تا ۸ کلمه کلیدی ارائه شود (حداکثر یک صفحه و بدون ذکر فرمول، شکل و مرجع). متن چکیده (۱۰۰۰-۵۰۰ کلمه) بایستی روی یک صفحه و با قلم مشابه B (Regular) Nazanin 11 و با فاصله خطوط حدود ۰/۷ cm (در قسمت paragraph برای Line spacing مقدار single را انتخاب کنید) باشد. صفحه‌آرایی باید به نحوی باشد که آخرین سطر متن در حاشیه پایین صفحه قرار گیرد.

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 حکایت می‌کند. این پژوهش به بررسی عددی انتقال حرارت و افت فشار جریان نانوسیال با سیال پایه آب و مخلوط آب-اتیلن گلیکول با نانوذرات اکسید آلومینیوم و اکسید مس می‌پردازد. به منظور افزایش هرچه بیشتر انتقال حرارت، در کنار استفاده از نانوسیال مناسب، می‌توان از لوله با دیواره سینوسی متقارن محوری نیز بهره جست. در پژوهش حاضر، بررسی عددی برای سیال‌های پایه و نانوسیال با غلظت‌های حجمی مختلف و قطرانودره متفاوت درون لوله صاف و سینوسی انجام گرفته است.

کلمات کلیدی: انتقال حرارت، نانوسیال، لوله سینوسی، افت فشار، شار حرارتی ثابت، معیار ارزیابی عملکرد

فهرست مطالب (B Nazanin 12 Bold)

صفحه	عنوان (B Nazanin 11 Bold)
هشت	فهرست مطالب
نه	فهرست شکل‌ها
نه	فهرست جدول‌ها
۵۵	فهرست علائم و نمادها
۱	فصل اول: مقدمه (B Nazanin 12 Bold)
۱	۱-۱ پیشگفتار (B Nazanin 12 Bold)
۲	۲-۱ محتویات فصل‌های پایان‌نامه
۴	۳-۱ روش‌های افزایش انتقال حرارت
۴	۱-۳-۱ روش‌های فعال (B Nazanin 11 Bold)
۶	فصل دوم: مروری بر کارهای انجام شده
۶	۱-۲ مقدمه
۷	۲-۲ نانوسیال
۷	۲-۲ خواص ترموفیزیکی نانوسیالات
۹	فصل سوم: مدل سازی
۹	۱-۳ مقدمه
۱۰	۲-۳ تشریح مسئله
۱۰	۱-۲-۳ هندسه مسئله
۱۱	۳-۳ معادلات حاکم
۱۲	فصل چهارم: ارائه و تحلیل نتایج
۱۲	۱-۴ بررسی جریان سیال داخل لوله صاف
۱۲	۲-۴ بررسی اثر عدد رینولدز
۱۳	۳-۴ بررسی اثر سیال پایه
۱۴	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاد
۱۴	۱-۵ نتیجه گیری
۱۵	مراجع

صفحه	عنوان
۵	شکل ۱-۱- سطوح روکش شده یا اندودشده [۱].....
۱۰	شکل ۱-۳- نمایی از لوله صاف.....
۱۱	شکل ۲-۳- پارامترهای هندسه لوله سینوسی [۳].....
۱۳	شکل ۱-۴- تغییرات محوری ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت موضعی سیال آب با عدد رینولدز. ۱۳
۱۳	شکل ۲-۴- تغییرات محوری ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت موضعی سیال پایه آب-اتیلن گلیکول با عدد رینولدز..... ۱۳

فهرست جدول‌ها **(B Nazanin 12 Bold)** (ضرورت آوردن این فهرست به تشخیص نویسنده و استاد راهنما است)

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸	جدول ۲- ۱- ضرائب معادله ۲-۳.....
۱۱	جدول ۳- ۱- ابعاد لوله های سینوسی مورد استفاده در پژوهش حاضر [۳].....

فهرست علائم و نمادها (B Nazanin 12 Bold)

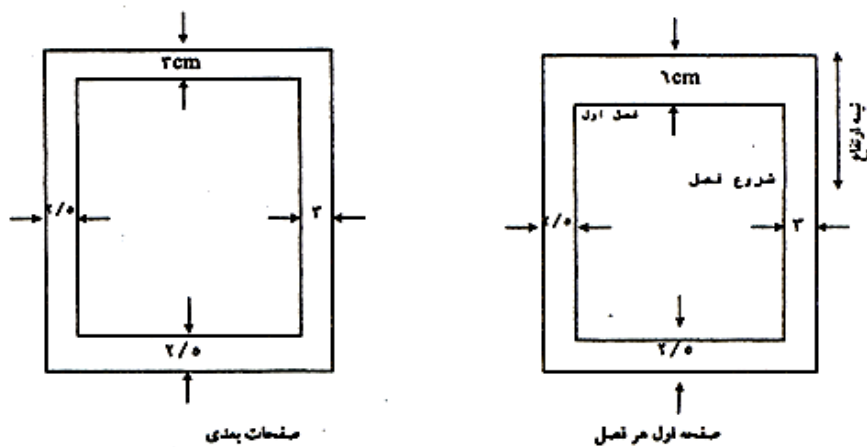
علائم یونانی	نمادهای لاتین
α ضریب پخش حرارت، m^2/s	C_p ظرفیت گرمایی ویژه، J/kg.K
β کسری از حجم سیال که با ذره جابجا می‌شود	D قطر لوله، m
μ ویسکوزیته دینامیکی، Pa.s	d قطر ذره، nm
	L طول لوله، m
زیرنویس	M وزن مولکولی
av متوسط	\dot{m} دبی جرمی، kg/s
b بالک	N عدد آووگادرو
	Nu عدد ناسلت
	P فشار، Pa
	Pe عدد پکلت

فصل اول

مقدمه (B Nazanin 13 Bold)

۱-۱ پیشگفتار (B Nazanin 12 Bold)

متن اصلی پایان نامه باید روی کاغذ A4 با قلم B Nazanin13 (Regular) و با فاصله خطوط حدود ۰/۹ cm (در قسمت paragraph برای Line spacing از قسمت Multiple مقدار 1.2 را انتخاب کنید) تایپ شده و حواشی صفحات مطابق نمونه زیر رعایت گردد. دقت شود که حاشیه صفحه اول هر فصل با صفحات بعدی متفاوت است. همچنین لازم است به غیر از اولین پاراگراف بعد از هر تیتر، اولین خط مابقی پاراگراف‌ها به اندازه ۵ میلی‌متر تورفتگی یا indent داشته باشد. تیترها تورفتگی یا indent ندارند.



در صفحه ابتدای هر فصل، بین بالای صفحه تا محل نوشتن عنوان فصل باید ۶ cm فاصله باشد. قسمت‌های مختلف هر فصل با اعدادی نظیر ۴-۶ یا ۲-۴-۶ مشخص می‌شود که عدد ۶ شماره فصل، عدد ۴ شماره بخش و

عدد ۲ شماره قسمت است (در صورت تقسیم یک قسمت به عناوین کوچکتر دیگر از شماره فصل و بخش استفاده نشود، به عنوان مثال نمی توان زیربندی به شکل ۶-۴-۲-۳ نوشت).

شماره و عنوان هر فصل با **B Nazanin13 (Bold)** ، بخش های مختلف فصول با **B Nazanin (Bold)**

12 و زیر بخش ها با **B Nazanin11 (Bold)** تایپ شود (توجه: شماره فصل با حروف نوشته شود).

در نوشتن پایان نامه باید از افعال مجهول استفاده کرد و به کار بردن اول شخص (من و ما) مناسب نیست. همچنین فعل ها باید بصورت کامل نوشته شود. اسامی افراد غیرایرانی در متن به فارسی نوشته شود و می توان نام انگلیسی آنها بصورت پاورقی بیاید. استفاده از کلمات و عبارات های لاتین در متن فارسی مجاز نیست. اگر حروف اختصاری به کار گرفته می شود لازم است در اولین مرتبه عبارت کامل در پاورقی بیاید و جلوی آن داخل پرانتز حروف اختصاری نوشته شود.

جمع بستن کلمه های فارسی (مثل آزمایش و پیشنهاد) با نشان جمع عربی غلط است. بنابراین کلمه پیشنهادات یا آزمایشات غلط است و باید از پیشنهادها یا آزمایش ها استفاده کرد. در عربی جمع کلمه های سه حرفی به صورت شکسته (مکسر) است. به عبارتی جمع اثر در عربی "آثار" و در فارسی "اثرها" است. پس، به کار بردن اثرات و نظرات درست نیست. جمله نباید با حروفی مثل "و" یا "که" شروع شود. از جمله های طولانی استفاده نکنید. هر پاراگراف یا بند حاوی یک موضوع است. از نوشتن پاراگراف های طولانی یا پاراگراف های خیلی کوتاه پرهیز نمایید.

جدول هایی که در راستای طولی کاغذ تنظیم می شوند، باید طوری قرار گیرند که متن بالای آنها در سمت عطف پایان نامه (رساله) واقع شود. همچنین شکل هایی که در راستای طولی کاغذ تنظیم می شوند، باید طوری قرار گیرند که متن پایین آن در سمت لبه پایان نامه (رساله) قرار گیرد. شکل ها و جداول حتی المقدور داخل متن و در نزدیک ترین فاصله ممکن بعد از محلی که ذکر شده، آورده شوند.

در مورد پاراگراف هایی که با عنوان جدید شروع می شوند (بخش بعدی را ببینید)، بین انتهای پاراگراف قبلی و عنوان بخش جدید باید یک خط فاصله باشد. بین عنوان یک بخش و سطر اول مربوط به آن نیازی به فاصله نیست [۱].

۲-۱ محتویات فصل های پایان نامه

هر فصل پایان نامه باید از یک صفحه جدید شروع شود. فصل اول معمولاً می تواند به صورت مقدمه باشد. در این فصل، موضوع پایان نامه و نقش و اهمیت و ضرورت کار انجام شده و اهداف آن تبیین می شود. مروری بر کارهای انجام شده توسط سایر محققین در فصل اول یا فصل دوم می آید. در بخش مرور پژوهش های پیشین، بهتر است مقاله های مختلف به ترتیب زمانی آورده شود. البته در کنار ترتیب زمانی، تفکیک موضوعی هم باید انجام شود.

به‌طور مثال، موضوع خواص حرارتی و خواص مکانیکی به‌صورت جداگانه می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. توصیه می‌شود از ذکر نام مقاله‌ها بدون نقد آنها یا بدون ارائه تحلیلی از دستاوردها و نوآوری‌ها پرهیز شود.

بسته به موضوع تحقیق انجام شده، فصل‌های مختلفی در پایان‌نامه وجود خواهد داشت. به‌طور مثال، مدل‌سازی انجام شده می‌تواند در قالب یک فصل کامل بیاید. در فصل مربوط به کارهای عملی پایان‌نامه (در صورت وجود)، بایستی به معرفی کامل مواد و دستگاه‌های استفاده شده و آزمون‌های انجام شده و شرایط محیطی و کاری آزمون‌ها اشاره شود. همچنین مواردی مانند تکرارپذیری نتایج هم باید مدنظر باشد. یکی از فصل‌های مهم پایان‌نامه، نتایج است. در این فصل با استفاده از نمودارها و جدول‌ها باید نتایج تحقیق به‌طور کامل توضیح داده شود. همچنین نتایج بدست آمده در این تحقیق باید با نتایج تحقیقات گذشته مقایسه شود و علت‌های احتمالی تفاوت‌ها توضیح داده شود.

آخرین فصل پایان‌نامه، جمع‌بندی و نتیجه‌گیری است. جمع‌بندی باید به‌صورت دسته‌بندی شده ارائه شود و هر نکته به‌صورت جداگانه در یک پاراگراف مجزا بیاید. همچنین جمع‌بندی باید براساس نتایج بدست آمده از تحقیق انجام شده در پایان‌نامه باشد.

معادله‌ها در متن پایان‌نامه باید برحسب فصل شماره‌گذاری شوند و در موقع اشاره به معادله، باید شماره آن به‌صورت کامل بیاید. شماره معادله باید شامل شماره فصل و شماره معادله به‌صورت (شماره فصل-شماره معادله) باشد. به‌طور مثال، منظور از (۳-۲) معادله سوم از فصل دوم است. بهتر است معادلات را در داخل جدول قرار دهید.

حرارت انتقال یافته بین یک دیواره و سیال توسط رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$Q = hA(T_w - T_f) \quad 1-1$$

یا

$$Q = (hA)_p(T_w - T_f) \quad 1-2$$

که در این رابطه T_w دمای دیواره و T_f دمای بالک سیال است. اگر بعد از فرمولها هنوز پاراگراف قبلی تمام نشده و یا توضیحات مربوط به فرمولها آورده شده، نیاز به تورفتگی یا indent نیست. نمادهای لاتین که در روابط برای متغیرها به کار می‌رود باید ایتالیک باشد و در متن هم به صورت ایتالیک و با همان فونت و همان اندازه به کار رفته در رابطه نوشته شود. واحدها به صورت ایتالیک نوشته نمی‌شوند.

۳-۱ روش‌های افزایش انتقال حرارت

مطابق دسته‌بندی کاکاش و همکاران^۱ [۱] و همچنین وب^۲ [۲]. اگر قرار است برای یک موضوع به چند مرجع مختلف که مسلسل هستند (پشت سر هم هستند) ارجاع شود، به شکل [۱-۱۰] بیاید یعنی تمام مراجع ۱ تا ۱۰ مدنظر است. اما اگر چند مرجع مختلف که مسلسل نیستند مورد ارجاع قرار گیرند به شکل [۲، ۴، ۵ و ۹] ذکر شوند. اگر فقط دو مرجع باشند به شکل [۴ و ۹] می‌آیند. هنگام ارجاع دادن به یک مرجع در متن، استفاده از عناوینی مثل آقا و خانم و مهندس و دکتر و ... و همچنین اسم کوچک آنان مجاز نیست. البته در لیست مراجع، اطلاعات کامل مقاله مشابه فرمت پایین ذکر می‌شود.

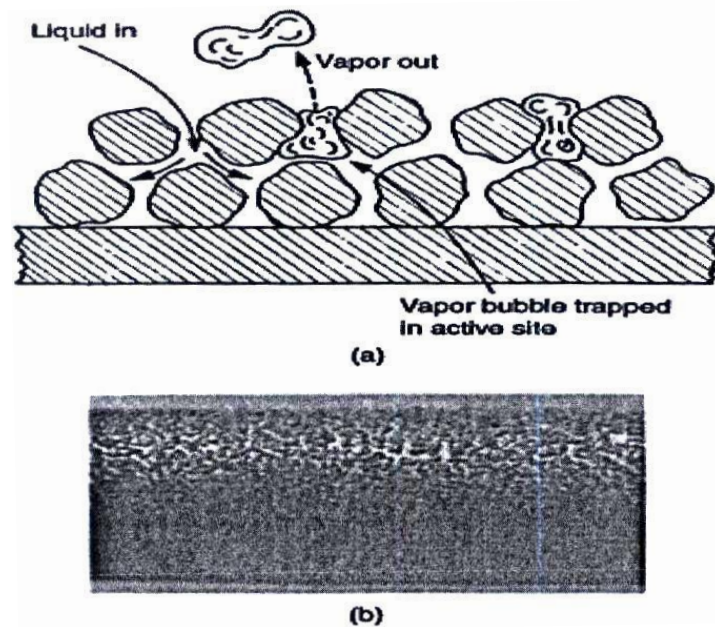
جدول ۱-۱- انواع فونت‌ها برای نگارش پایان‌نامه (B Nazanin 11 Regular)

نوع متن	نوع قلم	اندازه	فاصله خطوط
متن پایان‌نامه	B Nazanin (Regular)	13	1.2 Lines
عنوان فصل	B Nazanin (Bold)	13	
تیترهای اصلی	B Nazanin (Bold)	12	
تیترهای فرعی	B Nazanin (Bold)	11	
عنوان چکیده فارسی	B Nazanin (Bold)	11	
متن چکیده فارسی	B Nazanin (Regular)	11	single
کلمات کلیدی فارسی	B Nazanin (Regular)	11	
عنوان جدول و شکل	B Nazanin (Regular)	11	
پاورقی فارسی	B Nazanin (Regular)	10	
پاورقی انگلیسی	Times New Roman (Regular)	10	
عنوان چکیده انگلیسی	Times New Roman (Bold)	14	
متن چکیده انگلیسی	Times New Roman (Regular)	12	single
کلمات کلیدی انگلیسی	Times New Roman (Regular)	12	
فهرست منابع فارسی	B Nazanin (Regular)	12	
فهرست منابع انگلیسی	Times New Roman (Regular)	12	

۱-۳-۱ روش‌های فعال (B Nazanin 11 Bold)

معمولاً رایج نیست که بیش از ۳ زیربخش استفاده شود. لازم است شکل‌هایی که در متن استفاده می‌شود از کیفیت مناسبی برخوردار باشند. همچنین همواره باید قبل از آوردن شکل، در متن به آن ارجاع شود. مثلاً در شکل ۱-۱ نمونه‌های سطوح روکش شده یا اندود شده دیده می‌شود.

اگر شکل یا جدول از مرجع دیگری آورده شده است باید به آن مرجع استناد کرد. همچنین همه شکل‌ها باید دارای زیرنویس و شرح باشند. در ادامه یک جدول برای نشان دادن فونت و اندازه مناسب برای بخش‌های مختلف پایان‌نامه آمده است.



شکل ۱-۱- سطوح روکش‌شده یا اندودشده [۱] (B Nazanin 11 Reular)

فصل دوم

مروری بر کارهای انجام شده

در این فصل به بررسی پژوهش‌های تجربی و عددی انجام شده در زمینه نانوسیالات و کانال / لوله‌های سینوسی پرداخته می‌شود. همچنین روابط مختلفی که برای محاسبه خواص نانوسیالات، عدد ناسلت و ضریب اصطکاک ارائه شده است مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۱ مقدمه

افزایش انتقال حرارت و نیز سیالات انتقال‌دهنده حرارت موضوع بسیاری از تحقیقات در دهه‌های اخیر بوده است. سیالات انتقال حرارت شرایط را برای تبادل انرژی در یک سیستم مهیا می‌کنند و اثرات آنها بستگی به ویژگی‌های فیزیکی از قبیل هدایت حرارتی، لزجت، چگالی و ظرفیت گرمایی دارد. هدایت حرارتی پایین، اغلب مهم‌ترین محدودیت سیالات انتقال حرارت می‌باشد.

به‌علاوه بهبود عملکرد انتقال حرارت بخصوص در مبدل‌های صفحه‌ای یا لوله‌ای می‌تواند بوسیله تغییر شکل دیوار کانال مورد استفاده تحقق یابد. در مقایسه با لوله‌های افزایش‌دهنده دیگر (مانند لوله مارپیچ^۱ یا لوله راه‌راه متقاطع^۲) لوله دیواره موج سینوسی متقارن محوری^۳ مقاومت جریان کمتری دارد [۳]. از این رو تحقیقاتی نیز در این زمینه انجام گرفته است.

^۱Spiral tube

^۲ Traverse corrugated tube

^۳ Axisymmetric sinusoidal wavy-walled tube

۲-۲ نانوسیال

با پیشرفت علم، تولید نانوذرات 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 نانوذرات 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 نیتریدی (SiN و AlN)، سرامیک‌های کاربیدی (SiC و TiC)، فلزات (Au، Ag و Cu)، نیمه رساناها (SiC و TiO_2)، ترکیبات کربنی (نانولوله‌های کربنی، الماس و گرافیت) و مواد کامپوزیتی مثل نانوذرات آلیاژی $Al_{70}Cu_{30}$.

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

۲-۳ 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 برضریب انتقال حرارت اثر می‌گذارد، عبارتند از: چگالی، گرمای ویژه و لزجت نانوسیال. با فرض پراکندگی یکنواخت نانوذرات داخل سیال پایه، خواص حرارتی و فیزیکی نانوسیال به صورت زیر هستند.

واجها و همکاران^۱ [۸] رابطه‌ی ۱-۲ را برای محاسبه‌ی ویسکوزیته‌ی دینامیکی نانوسیال ارائه کردند. مقادیر A_1 و A_2 در جدول ۱-۲ 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.

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} A_1 e^{(A_2 \varphi)} \quad 1-2$$

جدول ۱-۲- ضرائب معادله (B Nazanin 11 Regular)

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)

فصل سوم

مدل سازی

در فصل قبل به بررسی پژوهش‌های تجربی و عددی انجام شده در زمینه نانوسیالات و کانال /لوله‌های سینوسی پرداخته شد. همچنین روابط مختلفی که برای محاسبه خواص نانوسیالات، عدد ناسلت و ضریب اصطکاک ارائه شده است مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل با تشریح کامل مسئله، به بررسی روش حل آن پرداخته می‌شود. سپس با ارائه معادلات حاکم، روابط مناسبی نیز برای محاسبه خواص نانوسیال انتخاب می‌شود. پس از حل عددی مساله، به اعتبارسنجی نتایج، بررسی حساسیت به شبکه و نحوه همگرایی حل عددی پرداخته می‌شود.

۳-۱ 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. روش‌هایی بسیار همانند مورد استفاده در روش‌های مرسوم محاسباتی می‌تواند برای بکارگیری در صنایع مهندسی در ارتباط با نانوسیال اقتباس شود.

۳-۲ تشریح مسئله

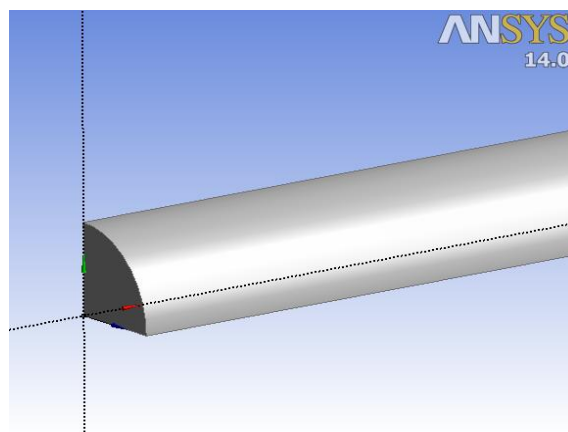
همانطور که در فصل اول نیز گفته موضوع پژوهش حاضر بررسی عددی جریان نانوسیال داخل لوله سینوسی می‌باشد. بدین منظور از نرم افزار Ansys CFX استفاده شده است. در این بخش ابتدا به توضیح هندسه‌های مورد نظر پرداخته می‌شود. سپس معادلات حاکم، خواص نانوذرات، سیال پایه، روابط مورد استفاده و روش حل آورده شده است. همچنین شبکه بندی هندسه، ارزیابی و بررسی حساسیت به شبکه بندی ارائه می‌گردد. در پایان اعتبار سنجی نتایج با داده‌های موجود انجام می‌شود.

۳-۲-۱ هندسه مسئله

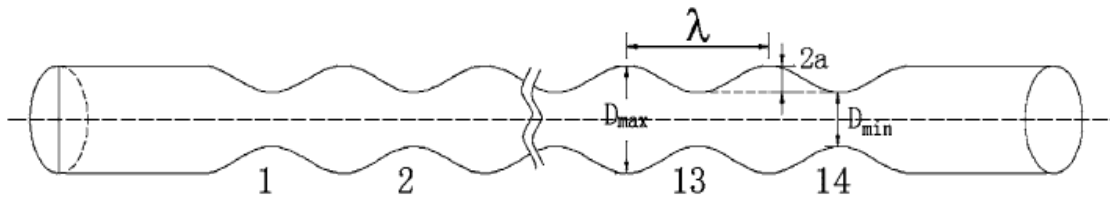
لوله صاف و لوله سینوسی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل شکل ۳-۱ نمایی از یک چهارم لوله صاف نشان داده شده است. برای تولید هندسه لوله سینوسی از پروفیل سطح آن که مطابق رابطه ۳-۱ است استفاده می‌شود.

$$y = a \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda}x - \frac{3\pi}{2}\right) + \frac{D_{max} + D_{min}}{4} \quad ۳-۲$$

که y فاصله پروفیل سطح سینوسی از مرکز لوله است. در جدول ابعاد دو حالت لوله سینوسی که در شکل پارامترهای آن مشخص شده، آورده شده است.



شکل ۳-۱- نمایی از لوله صاف



شکل ۳-۲- پارامترهای هندسه لوله سینوسی [۳]

جدول ۳-۱- ابعاد لوله های سینوسی مورد استفاده در پژوهش حاضر [۳]

ردیف	D_{max} (mm)	D_{min} (mm)	$2a$ (mm)	λ (mm)	F_w	طول لوله
حالت اول	۱۰	۳	۳/۵	۱۴	۰/۸۳	۱۴λ
حالت دوم	۱۰	۷	۱/۵	۱۴	۰/۱۵	۱۴λ

۳-۳ معادلات حاکم

در پژوهش حاضر از مدل تک‌فازی برای حل جریان نانوسیال استفاده می‌شود. بنابراین معادلات حاکم همانند جریان سیالات متداول است. برای جریان پایا که خواص فیزیکی سیال تابع دما است، معادله بقای جرم، بقای مومنتم و انرژی به صورت زیر خواهد بود.

معادله بقای جرم :

$$\text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad ۲-۳$$

معادله بقای مومنتم :

$$\text{div}(\rho \vec{V} \vec{V}) = -\text{grad } P + \nabla \cdot (\mu \nabla \vec{V}) \quad ۳-۳$$

معادله بقای انرژی :

$$\text{div}(\rho \vec{V} C_p T) = \text{div}(k \text{ grad } T) \quad ۴-۳$$

که \vec{V} ، P و T به ترتیب بردار سرعت، فشار و دما هستند.

فصل چهارم

نتایج

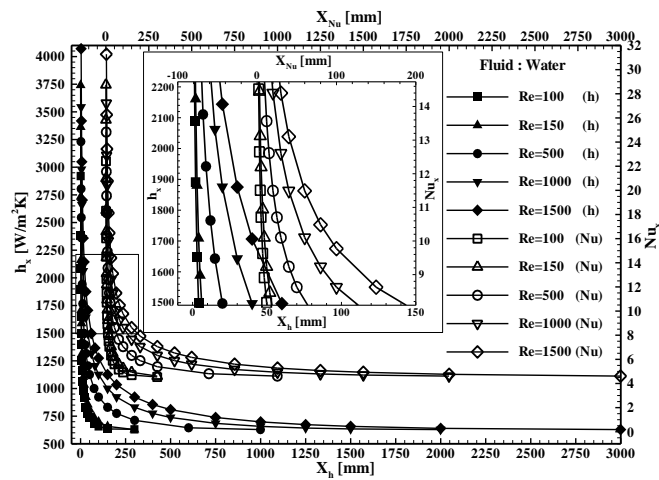
در فصل سوم با تشریح کامل مسئله و حل عددی آن، به اعتبارسنجی نتایج، بررسی حساسیت به شبکه و نحوه همگرایی حل عددی پرداخته شد. در این فصل اثر پارامترهای مختلف نظیر عدد رینولدز، غلظت حجمی نانوذرات، قطر نانوذرات، سیال پایه، نوع نانوذرات و نوع لوله سینوسی بر انتقال حرارت جابجایی، ضریب اصطکاک و معیار ارزیابی عملکرد در نمودارها و شکل‌های مختلفی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱ بررسی جریان سیال داخل لوله صاف

برای بررسی جریان داخل لوله صاف اعداد رینولدز ۱۰۰، ۱۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ که در محدوده جریان آرام قرار دارند شبیه‌سازی می‌شوند. لوله با قطر ۴/۵۷ mm و طول متفاوت برای هر عدد رینولدز که در شکل ۴-۱ نیز قابل مشاهده است مطابق توضیحات فصل قبل شبیه‌سازی شده است.

۴-۲ بررسی اثر عدد رینولدز

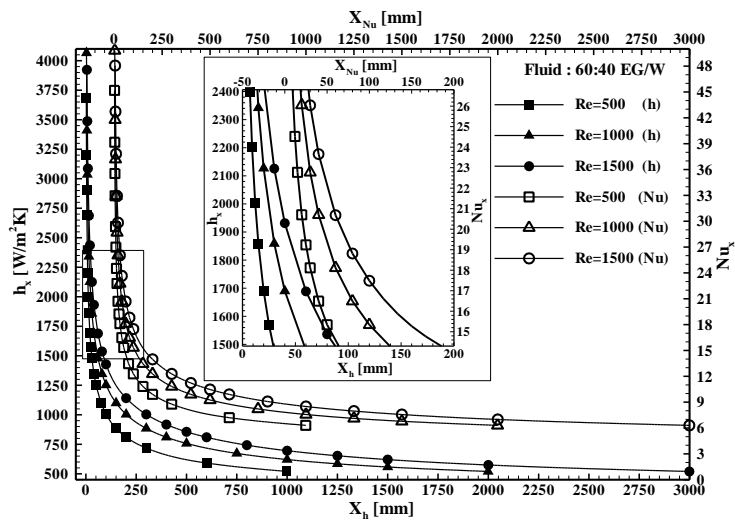
شکل ۴-۱ تغییرات محوری ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت موضعی سیال پایه آب با عدد رینولدز را نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود با افزایش عدد رینولدز به دلیل کاهش ضخامت لایه مرزی انتقال حرارت جابجایی افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۱- تغییرات محوری ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت موضعی سیال آب با عدد رینولدز

۳-۴ بررسی اثر سیال پایه

برای بررسی اثر سیال پایه، مخلوط آب-اتیلن گلیکول که در مناطق سرد دنیا به دلیل نقطه انجماد پایین کاربرد دارد استفاده شده است. تغییرات محوری ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت موضعی با عدد رینولدز مطابق شکل ۴-۲ است و با افزایش عدد رینولدز مشابه قبل افزایش انتقال حرارت مشاهده می‌شود. البته باید توجه داشت که این سیال نسبت به آب، طول توسعه یافتگی بیشتری به دلیل بیشتر بودن عدد پرانتل نیاز دارد.



شکل ۴-۲- تغییرات محوری ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت موضعی سیال پایه آب-اتیلن گلیکول با عدد رینولدز

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهاد

در فصل چهارم اثر پارامترهای مختلف نظیر عدد رینولدز، غلظت حجمی نانوذرات، قطر نانوذرات، سیال پایه و نوع نانوذرات بر انتقال حرارت جابجایی و ضریب اصطکاک لوله صاف و سینوسی در شکل‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل نتیجه‌گیری و جمع‌بندی نتایج ارائه می‌شود. در پایان تعدادی پیشنهاد برای پژوهش‌های بعدی آورده شده است.

۵-۱ نتیجه گیری

با بررسی‌های انجام شده در سه هندسه مورد مطالعه نتایج زیر قابل استنباط است:

۱- در لوله صاف با رشد لایه مرزی حرارتی، عدد ناسلت موضعی کاهشی پیوسته را نشان می‌دهد. در لوله سینوسی عدد ناسلت موضعی در هر طول موج در قسمت همگرا بیشتر از قسمت واگرا است. دلیل آن سرعت متوسط و گرادیان سرعت بالاتر در قسمت همگرا است که انتقال حرارت را افزایش می‌دهد. مشاهده می‌شود مقدار عدد ناسلت موضعی در گلوگاه لوله سینوسی در تمام طول موج‌ها از مقدار آن در لوله صاف بسیار بیشتر است. برعکس آن، جریان معکوس نزدیک دیوار در قسمت محدب گرادیان سرعت پایینی دارد که نرخ انتقال حرارت را کاهش می‌دهد.....

مراجع

مراجع به ترتیب ظهور در متن با شماره در داخل کروشه [] مشخص شده و در انتهای پایان نامه به ترتیب شماره و به صورت زیر بیان می‌شوند(به ایتالیک بودن عنوان کتاب و گزارش، نام نشریات ادواری و مجموعه مقالات کنفرانسها توجه نمایید). در عنوان شکل و یا عنوان جدول، ذکر مرجع برای شکل‌ها و جدول‌هایی که کار دیگران است ضروری می‌باشد.

نحوه ارجاع به مقالات مندرج در نشریات ادواری

نام خانوادگی، حروف اول نام (های) مولف، "عنوان مقاله" نام نشریه ادواری، نام ناشر(در صورت وجود)، شماره مجلد و شماره نشریه، صفحات از..... تا.....، سال انتشار.

نحوه ارجاع به کتب

نام خانوادگی، حرف اول نام مولف/ مترجم (ین)، نام کتاب، شماره ویرایش، ناشر و محل نشر، تاریخ انتشار.

نحوه ارجاع به پایان نامه ها

نام خانوادگی، حرف اول نام مولف (مولفین)، عنوان پایان نامه، دانشکده، دانشگاه، گزارش علمی، سال.

نحوه ارجاع به مجموعه مقالات در کنفرانس ها

نام خانوادگی، حرف اول نام مولف (مولفین)، "عنوان مقاله"، نام کنفرانس، شماره مجله، صفحات از تا.....، محل، سالن کنفرانس.

- [1] Kakaç, S., Bergles, A. E., Mayinger, F., and Yuncu, H., *Heat transfer enhancement of heat exchangers*, vol. 355, Springer, 1999.
- [2] Webb, R. L., *Principles of enhanced heat transfer*, John Wiley & Sons, New York, 1994.
- [3] Bian, Y., Chen, L., Zhu, J., and Li, C., "Effects of dimensions on the fluid flow and mass transfer characteristics in wavy-walled tubes for steady flow", *Heat and Mass Transfer*, vol. 49(5), pp. 723-731, 2013/05/01 2013.
- [4] Choi, S. U. S. and Eastman, J. A., *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles*, 1995.
- [5] Pak, B. C. and Cho, Y. I., "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles", *Experimental Heat Transfer*, vol. 11(2), pp. 151-170, 1998/04/01 1998.
- [6] Khanafer, K. and Vafai, K., "A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 54(19-20), pp. 4410-4428, 2011.
- [7] Ho, C. J., Liu, W. K., Chang, Y. S., and Lin, C. C., "Natural convection heat transfer of alumina-water nanofluid in vertical square enclosures: An experimental study", *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 49(8), pp. 1345-1353, 2010.

- [8] 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. 53(21–22), pp. 4607-4618, 2010.
- [9] 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. 37(1), pp. 74-78, 2010.
- [۱۰] پارسا، م، مدل سازی انتقال حرارت در داخل لوله های سینوسی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۱.
- [11] Hodges, J. and Lehmann, E.L., "Some applications of the cramer – Rao inequality", *Proceeding of 2nd Berkely Symposium on mathematics, Statistics, and Probability*, Vol. 1, pp.13-22, Berkeley, 1951.
- [۱۲] نادری، م. و حسینی، س.ر.، " ارزیابی تاثیر فرایند سطحی نورد عمیق بر ساختار میکروسکوپی سطح فولاد زنگ نزن آستنیتی AISI316"، مجموعه مقالات چهاردهمین سمینار ملی مهندسی سطح، ص ص ۱۴-۲۰، اصفهان ۱۳۹۲.

Numerical Investigation of Heat Transfer Enhancement during Nanofluid Flow inside Sinusoidal Tubes (14 Times New Roman Bold)

Student first and last_name (14 Times New Roman Regular)

name@me.iut.ac.ir (10 Times New Roman Regular)

Date of Submission: 2020/01/20 (12 Times New Roman Regular)

Department of Mechanical Engineering (12 Times New Roman Regular)

Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran (12 Times New Roman Regular)

Degree: M.Sc.

Language: Persian

(12 Times New Roman Regular)

Supervisor: supervisor name, supervisor_email@iut.ac.ir

Abstract (12 Times New Roman Bold)

The abstract is informative and should state the scope, principles and objectives of the research, describe the method used, summarize the results and emphasize the main conclusion. It is a plain text of 500-1000 words, single-spaced and justified. References should not be cited. All margins should be set up at 2.54 cm and the font should be (12 Times New Roman).

In recent years, many efforts have been devoted to analysis of rheological and thermal behaviors of nanofluids. The present research is a numerical study of heat transfer and pressure drop of two nanofluids including water and ethylene glycol-water as base fluid with Al_2O_3 and CuO nano particles through a axisymmetric sinusoidal walled tube. In this research, numerical investigation has been done for various combinations of base fluid, nanoparticle size and concentration through straight and sinusoidal tube. Simulation has been done using Ansys CFX software in laminar flow. Besides, the thermal boundary condition of constant uniform heat flux on the tube wall was applied. The results show that the increase of Reynolds number and nano particle volume concentration have considerable effects on the heat transfer coefficient enhancement. With similar Reynolds number.....

Keywords: (12 Times New Roman Bold)

Heat transfer, Nanofluid, Sinusoidal tube, Pressure drop, Performance evaluation criteria, Constant heat flux (12 Times New Roman Regular)



Isfahan University of Technology (14 Times New Roman Bold)

Department of Mechanical Engineering (12 Times New Roman Regular)

**Numerical Investigation of Heat Transfer Enhancement
during Nanofluid Flow inside Sinusoidal Tubes (16 Times New
Roman Bold)**

A Thesis

Submitted in partial fulfillment of the requirements

for the degree of Master of Science (12 Times New Roman Regular)

By

Student Name (12 Times New Roman Bold)

Evaluated and Approved by the Thesis Committee, on January, 20, 2014 (12 Times New Roman Regular)

1- Supervisor Name, Prof. (Supervisor)

2- Advisor Name, Prof. (Advisor)

3- Examiner Name, Prof. (Examiner)

4- Examiner Name, Assoc. Prof. (Examiner)

Department Graduate Coordinator (First_name Last_name)