

**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)**

پايان‌نامه کارشناسی مهندسی مکانیک (B Nazanin 16 Regular)

**علی علوی(B Nazanin 12 Bold)**

استاد راهنما(B Nazanin 14 Regular)

**دکتر حسین حسینی(B Nazanin 12 Bold)**

**1400(B Nazanin 10 Bold)**





**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)**

پايان‌نامه کارشناسی مهندسی مکانیک ( (B Nazanin 16 Regular

**علی علوی (B Nazanin 12 Bold)**

استاد راهنما (B Nazanin 14 Regular)

**دکتر حسین حسینی(B Nazanin 12 Bold)**

**1400**

 فرم معرفی پروژه

صفحه تشکر و قدردانی (آوردن این صفحه اختیاری است)

کلیه حقوق مالکیت مادی و معنوی مربوط به اين پايان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان و پدیدآورندگان است. این حقوق توسط دانشگاه صنعتي اصفهان و بر اساس خط مشی مالکیت فکری این دانشگاه، ارزش‌گذاری و سهم بندي خواهد شد.

هر گونه بهره برداري از محتوا، نتايج یا اقدام براي تجاري‌سازي دستاوردهاي اين پايان نامه تنها با مجوز کتبی دانشگاه صنعتی اصفهان امکان‌پذیر است. (B Nazanin 16 Regular)

صفحه تقدیم اثر (آوردن این صفحه اختیاری است)

**چکيده**

در اين قسمت کارهاي انجام شده و نتايج بدست آمده در تحقيق بطور مختصر همراه با 4 تا 8 کلمه کليدی ارائه شود(حداکثر يک صفحه و بدون ذکر فرمول، شکل و مرجع). متن چکيده (1000-500 کلمه) بايستي روي يک صفحه و با قلم مشابه (Regular) B Nazanin 11 و با فاصله خطوط حدود cm 7/0 ( در قسمت paragraph برای Line spacing مقدار single را انتخاب کنید) باشد. صفحه‌آرایی باید به نحوي باشد که آخرين سطر متن درحاشيه پايين صفحه قرار گيرد.

در متن چکيده، از ارجاع به منابع و اشاره به جداول و نمودارها اجتناب شود. در صورت نياز به معرفي حوزه تحقيق و مباني تئوري آن، حداکثر در پاراگراف اول از چکيده ارائه شود. فقط به ارائه‌ي روش تحقيق و نتايج نهايي و محوري بسنده و از ارائه‌ي موضوعات و نتايج كلي اجتناب شود. كلمات يا عباراتي كه در اين بخش توضيح داده مي‌شود، بايد كاملاً محوري و مرتبط با موضوع تحقيق باشند.

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

**فهرست مطالب(B Nazanin 12 Bold)**

**عنوان(B Nazanin 10 Bold)** **صفحه**

فهرست مطالب هشت

فهرست شکل‌ها نه

فهرست جدول‌ها نه

فهرست علائم و نمادها ده

[فصل اول: مقدمه(B Nazanin 13 Bold) 1](#_Toc77230931)

[1-1 پیشگفتار(B Nazanin 12 Bold) 1](#_Toc77230932)

[1-2 محتویات فصل‌های پایان‌نامه 2](#_Toc77230933)

[1-3 روش‌های افزایش انتقال حرارت 3](#_Toc77230934)

[1-3-1 روش‌های فعال(B Nazanin 11 Bold) 4](#_Toc77230935)

[فصل دوم: مروری بر کارهای انجام شده 6](#_Toc77230936)

[2-1 مقدمه 6](#_Toc77230937)

[2-2 نانوسیال 7](#_Toc77230938)

[2-2 خواص ترموفیزیکی نانوسیالات 7](#_Toc77230939)

[فصل سوم: مدل سازی 9](#_Toc77230940)

[3-1 مقدمه 9](#_Toc77230941)

[3-2 تشریح مسئله 10](#_Toc77230942)

[3-2-1 هندسه مسئله 10](#_Toc77230943)

[3-3 معادلات حاکم 11](#_Toc77230944)

[فصل چهارم: ارائه و تحلیل نتایج 12](#_Toc77230945)

[4-1 بررسی جریان سیال داخل لوله صاف 12](#_Toc77230946)

[4-2 بررسی اثر عدد رینولدز 12](#_Toc77230947)

[4-3 بررسی اثر سیال پایه 13](#_Toc77230948)

[فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاد 14](#_Toc77230949)

[5-1 نتیجه گیری 14](#_Toc77230950)

 مراجع 17

**فهرست شکل‌ها(B Nazanin 12 Bold)**

**عنوان** **صفحه**

[شکل ‏1‑1- سطوح روکش‌شده یا اندود‌شده [1] 5](#_Toc381473697)

[شکل ‏1‑2- سطوح زبر [1] 5](#_Toc381473698)

[شکل ‏3‑1- نمایی از لوله صاف 12](#_Toc381473699)

[شکل ‏3‑2- پارامترهای هندسه لوله سینوسی [3] 13](#_Toc381473700)

[شکل ‏4‑1- تغییرات محوری ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت موضعی سیال آب با عدد رینولدز 15](#_Toc381473701)

[شکل ‏4‑2- تغییرات محوری ضریب انتقال حرارت جابجایی وعدد ناسلت موضعی سیال پایه آب-اتیلن گلیکول با عدد رینولدز 15](#_Toc381473702)

**فهرست جدول‌ها(B Nazanin 12 Bold)**

نه

**عنوان** **صفحه**

[جدول ‏2‑1- ضرائب معادله ‏2‑3 9](#_Toc381473703)

[جدول ‏3‑1- ابعاد لوله های سینوسی مورد استفاده در پژوهش حاضر [3] 13](#_Toc381473704)

**فهرست علائم و نمادها(B Nazanin 12 Bold)**

ده

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **نمادهای لاتین** |  | **علائم يونانی** |
|  | ظرفیت گرمایی ویژه، |   | ضریب پخش حرارت،   |
|  | قطر لوله، |  | کسری از حجم سیال که با ذره جابجا می­شود |
|  | قطرذره، |  | ویسکوزیته دینامیکی، |
|  | طول لوله، |  |  |
|   | وزن مولکولی |  | **زیرنویس** |
|   | دبی جرمی،   | av | متوسط |
|  | عدد آووگادرو | b | بالک |
|  | عدد ناسلت |
|   | فشار، |
|  | عدد پکلت |

یازده

یازده

# فصل اول

فصل اول: **مقدمه**(B Nazanin 13 Bold)

## پیشگفتار(B Nazanin 12 Bold)

متن اصلي پايان نامه بايد روي کاغذ A4 با قلم (Regular) B Nazanin13 و با فاصله خطوط حدودcm 9/0 ( در قسمت paragraph برای Line spacing از قسمت Multiple مقدار 1.2 را انتخاب کنید) تايپ شده و حواشي صفحات مطابق نمونه زير رعايت گردد. دقت شود که حاشیه صفحه اول هر فصل با صفحات بعدی متفاوت است. همچنین لازم است غیر از اولین پاراگراف بعد از هر تیتر، اولین خط مابقی پاراگراف‌ها به اندازه 5 میلیمتر تورفتگی یا indent داشته باشد.



در صفحه ابتدای هر فصل، بین بالای صفحه تا محل نوشتن عنوان فصل باید 6 cm فاصله باشد. قسمت‌هاي مختلف هر فصل با اعدادي نظير 6-4 يا 6-4-2 مشخص مي‌شود که عدد 6 شماره فصل، عدد4 شماره بخش و عدد2 شماره قسمت است ( درصورت تقسيم يک قسمت به عناوين کوچکتر ديگر از شماره استفاده نشود، به‌عنوان مثال نمي‌‌توان زيربندي به‌شکل 6-4-2-3 نوشت). شماره و عنوان هر فصل با (Bold) B Nazanin13 ، بخش‌هاي مختلف فصول با (Bold)B Nazanin 12 و زير بخش‌ها با (Bold) B Nazanin11 تايپ شود( توجه: شماره فصل با حروف نوشته شود).

در نوشتن پایان‌نامه باید از افعال مجهول استفاده کرد و به‌کار بردن اول شخص (من و ما) مطلوب نیست. همچنین فعل‌ها باید بصورت کامل نوشته شود. اسامی افراد غیرایرانی در متن به فارسی نوشته شود و نام انگلیسی آنها بصورت پاورقی بیاید. استفاده از کلمات و عبارت‌های لاتین در متن فارسی مجاز نیست. اگر حروف اختصاری به‌کار گرفته می‌شود لازم است در اولین مرتبه عبارت کامل در پاورقی بیاید و جلوی آن داخل پرانتز حروف اختصاری نوشته شود.

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

جدول‌هایی که در راستاي طولي کاغذ تنظيم مي‌شوند، بايد طوري قرار گيرند که متن بالاي آنها در سمت عطف پايان‌نامه (رساله) واقع شود. همچنين شکل‌هایی که در راستاي طولي کاغذ تنظيم مي‌شوند، بايد طوري قرار گيرند که متن پايين آن درسمت لبه پايان‌نامه (رساله) قرار گيرد. شکل ها و جداول حتي المقدور داخل متن و در نزديک‌ترين فاصله ممکن بعد از محلي که ذکر شده، آورده شوند.

در مورد پاراگراف‌هایی که با عنوان جدید شروع می‌شوند (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 [[1](#_ENREF_1)].

## محتویات فصل‌های پایان‌نامه

هر فصل پایان‌نامه باید از یک صفحه جدید شروع شود. فصل اول معمولا می‌تواند به‌صورت مقدمه باشد. در این فصل، موضوع پایان‌نامه و نقش و اهمیت و ضرورت کار انجام شده و اهداف آن تبیین می‌شود. مروری بر کارهای انجام شده توسط سایرمحققین در فصل اول یا فصل دوم می‌آید. در بخش مرور پژوهش‌های پیشین، بهتر است مقاله‌های مختلف به‌ترتیب زمانی بیاید. البته در کنار ترتیب زمانی، تفکیک موضوعی هم باید انجام شود. به‌طور مثال، موضوع خواص حرارتی و خواص مکانیکی به‌صورت جداگانه 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 (درصورت 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 (2-3) معادله سوم از فصل دوم است.

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

|  |  |
| --- | --- |
| ‏(1‑1) | $$Q=hA\left(T\_{w}-T\_{f}\right)$$ |

یا

|  |  |
| --- | --- |
| (‏1‑2) | $$Q=\left(hA\right)\_{p}\left(T\_{w}-T\_{f}\right)$$ |

که در این رابطهدمای دیواره ودمای بالک سیال است. نمادهای لاتین که در روابط برای متغیرها به­کار می­رود باید *ایتالیک* باشد و در متن هم به صورت *ایتالیک* و با همان فونت و همان اندازه به­کار رفته در رابطه نوشته شود. واحدها به صورت ایتالیک نوشته نمی­شوند*.*

## 1-3 روش‌های افزایش انتقال حرارت

مطابق دسته­بندی کاکاش و همکاران[[1]](#footnote-2) [[1](#_ENREF_1)] و همچنین وب[[2]](#footnote-3) [[2](#_ENREF_2)] اگر قرار است برای یک موضوع به چند مرجع مختلف که مسلسل هستند (پشت سر هم هستند) ارجاع شود، به‌شکل [1-10] بیاید یعنی تمام مراجع 1 تا 10 مدنظر است. اما اگر چند مرجع مختلف که مسلسل نیستند مورد ارجاع قرار گیرند به‌شکل [2، 4، 5 و 9] ذکر شوند. اگر فقط دو مرجع باشند به‌شکل [4 و 9] 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.

### 1-3-1 روش‌­های فعال(B Nazanin 11 Bold)

معمولا رایج نیست که بیش از 3 زیربخش استفاده شود. لازم است شکل‌هایی که در متن استفاده می‌شود ازکیفیت مناسبی برخوردار باشند. همچنین همواره باید قبل از آوردن شکل، در متن به آن ارجاع شود. مثلا در شکل ‏1‑1 ‌نمونه‌های سطوح روکش‌شده یا اندود‌شده 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

جدول ‏1‑1- انواع فونت‌ها برای نگارش پایان‌نامه(B Nazanin 11 Regular)

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



شکل ‏1‑1- سطوح روکش‌شده یا اندود‌شده [[1](#_ENREF_1)] (B Nazanin 11 Reular)

# فصل دوم

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.

## 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[[3]](#footnote-4) یا لوله راه­راه متقاطع[[4]](#footnote-5)) لوله دیواره­موج سینوسی متقارن محوری[[5]](#footnote-6) مقاومت جریان کمتری دارد[[3](#_ENREF_3)]. از این رو تحقیقاتی نیز در این زمینه انجام گرفته است.

## 2-2 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 [[4](#_ENREF_4)] به نوع جدیدی از سیال انتقال حرارت که شامل مقدار کمی از نانوذرات فلزی یا غیرفلزی بود، اتلاق 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 1 تا 100 نانومتر متغیر باشد. فهم کامل رفتارهای انبوهشی و رئولوژیکی[[6]](#footnote-7) 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 Al2O3)، اکسیدهای نیتریدی (SiN و AlN)، سرامیک­های کاربیدی (TiC و SiC)، فلزات (Au، Ag و Cu)، نیمه رساناها (SiC و TiO2)، ترکیبات کربنی (نانولوله­های کربنی، الماس و گرافیت) و مواد کامپوزیتی مثل نانوذرات آلیاژی Al70Cu30.

انواع سیالات پایه: انواع مختلفی از مایعات نیز بعنوان سیال میزبان بکار گرفته می‌شوند، مانند: آب، اتیلن گلیکول، روغن موتور، سیالات زیستی[[7]](#footnote-8) و محلول های پلیمری.

## 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 اثرمی­گذارد، 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[[8]](#footnote-9) [[8](#_ENREF_8)] رابطه­ی ‏2‑3 را برای محاسبه­ی ویسکوزیته­ی دینامیکی نانوسیال ارائه کردند. مقادیرودر جدول ‏2‑1 آورده شده است. مشاهده می­شود که در این رابطهاثر دما روی ویسکوزیته را شامل می­شود، بنابراین هیچ عبارت اضافی شامل دما نیاز نیست. این رابطه در محدوده­ی دمایی K363>T>K273 معتبر است.

|  |  |
| --- | --- |
| ‏2‑3 | $$μ\_{nf}=μ\_{bf}A\_{1}e^{\left(A\_{2}φ\right)}$$ |

جدول ‏2‑1- ضرائب معادله ‏2‑3(B Nazanin 11 Regular)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| نانوذره |  |  | متوسط اندازه ذره (nm) | غلظت (%) |
| اکسیدآلومینیوم() | 983/0 | 959/12 | 45 | 10 ≥≥ 0 |
| اکسیدمس() | 9197/0 | 8539/22 | 29 | 6 ≥≥ 0 |

# فصل سوم

فصل سوم: روش تحقیق

شرح كامل روش تحقيق است. اين فصل بسته به نوع روش تحقيق و با صلاح‌ديد و نظر استاد راهنما مي‌تواند «مواد و روش‌ها» نام‌گيرد. اين فصل بین 5 تا 15 صفحه است.

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.

## مقدمه

در طی سال­های اخیر به کمک کامپیوترهای سریع، مهندسین 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[[9]](#footnote-10) (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.

## 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.

### 3-2-1 هندسه مسئله

لوله صاف و لوله سینوسی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل ‏3‑1 نمایی از یک­چهارم لوله صاف نشان داده شده است. برای تولید هندسه لوله سینوسی از پروفیل سطح آن که مطابق رابطه ‏3‑1 است استفاده می­شود.

|  |  |
| --- | --- |
| ‏3‑1 | $$y=asin\left(\frac{2π}{λ}x-\frac{3π}{2}\right)+\frac{D\_{max}+D\_{min}}{4}$$ |

که *y* فاصله پروفیل سطح سینوسی از مرکز لوله است.در جدول ‏3‑1 ابعاد دو حالت لوله سینوسی که در شکل ‏3‑2 پارامترهای آن مشخص شده، آورده شده است.



شکل ‏3‑1- نمایی از لوله صاف



شکل ‏3‑2- پارامترهای هندسه لوله سینوسی [[3](#_ENREF_3)]

جدول ‏3‑1- ابعاد لوله های سینوسی مورد استفاده در پژوهش حاضر [[3](#_ENREF_3)]

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| طول لوله |  |  |  |  |   | ردیف |
| 14 | 83/0 | 14 | 5/3 | 3 | 10 | حالت اول |
| 14 | 15/0 | 14 | 5/1 | 7 | 10 | حالت دوم |

## 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 :

|  |  |
| --- | --- |
| ‏3‑2 | $$div\left(ρ\vec{V}\right)=0$$ |

معادله­ بقای مومنتم :

|  |  |
| --- | --- |
| ‏3‑3 | $$div\left(ρ\vec{V}\vec{V}\right)=-gradP+∇.\left(μ∇\vec{V}\right)$$ |

معادله­ بقای انرژی :

|  |  |
| --- | --- |
| ‏3‑4 | $$div\left(ρ\vec{V}C\_{p}T\right)=div\left(kgradT\right)$$ |

که ، و به ترتیب بردار سرعت، فشار و دما هستند.

# فصل چهارم

فصل چهارم: ارائه و تحلیل نتایج

ارائه‌ي داده‌ها، نتايج و تحليل و تفسير آنها در فصل چهارم ارائه مي‌شود. تفاوت، تضاد يا تطابق بين نتايج تحقيق با نتايج ديگر محققان بايد ذكر شود. تفسير و تحليل نتايج نبايد بر اساس حدس و گمان باشد، بلكه بايد برمبناي نتايج عملي استخراج‌شده از تحقيق و يا استناد به تحقيقات ديگران باشد. در ارائه‌ي نتايج با توجه به راهنماي كلي نگارش فصل ها،، تا حد امكان تركيبي از نمودار و جدول استفاده شود. با توجه به حجم و ماهيت تحقيق و با صلاحديد استاد راهنما، اين فصل مي‌تواند تحت عنواني ديگر بيايد يا به دو فصل جداگانه با عناوين مناسب، تفكيك شود. در صورتي که حجم داده‌ها زياد باشد، بهتر است به صورت نمودار يا در قالب ضميمه ارائه نشده و فقط نمونه‌ها در متن آورده شود. اين فصل فقط بايد به جمع‌بندي دست‌آوردهاي فصل‌هاي چهارم و پنجم محدود و از ذكر موارد جديد در آن خودداري شود. در عنوان اين فصل، به جاي کلمه‌ي «تفسير» مي‌توان از واژگان «بحث» و «تحليل» هم استفاده کرد. اين فصل بین 5 تا 20 صفحه است.

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.

## بررسی جریان سیال داخل لوله صاف

برای بررسی جریان داخل لوله صاف اعداد رینولدز 100، 150، 500، 1000 و 1500 که در محدوده جریان آرام قرار دارند شبیه­سازی می­شوند. لوله­ با قطر mm 57/4 و طول­ متفاوت برای هر عدد رینولدز که در شکل ‏4‑1 نیز قابل مشاهده است مطابق توضیحات فصل قبل شبیه­سازی شده است.

## بررسی اثر عدد رینولدز

شکل ‏4‑1 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 ‏4‑1- تغییرات محوری ضریب انتقال حرارت جابجایی و عدد ناسلت موضعی سیال آب با عدد رینولدز

## 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 وعدد ناسلت موضعی با عدد رینولدز مطابق شکل ‏4‑2 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 ‏4‑2- تغییرات محوری ضریب انتقال حرارت جابجایی وعدد ناسلت موضعی سیال پایه آب-اتیلن­ گلیکول با عدد رینولدز

# فصل پنجم

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهاد

ارائه‌ي خلاصه‌اي از يافته‌هاي تحقيق جاري است. اين فصل مي‌تواند حاوي يک مقدمه شامل مروري اجمالي بر مراحل انجام تحقيق باشد (حدود يک صفحه). مطالب پاراگراف‌بندي شود و هر پاراگراف به يك موضوع مستقل اختصاص يابد. فقط به ارائه‌ي يافته‌ها و دست‌آوردها بسنده شود و از تعميم بي‌مورد نتايج خودداري شود. از ارائه جدول و نمودارها اجتناب شود. از ارائه‌ي عناوين كلي در حوزه‌ي تحقيق و پيشنهاد تحقيقات آتي خودداري شود و كاملاً در چارچوب و زمينه‌ي مربوط به تحقيق جاري باشد. اين فصل حدود 2 صفحه است.

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.

## نتیجه گیری

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

1. 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 ترتيب ظهور در متن با شماره در داخل کروشه [] مشخص شده و در انتهاي پايان نامه به ترتيب شماره و به صورت زير بيان مي‌شوند( به ايتاليک بودن عنوان کتاب و گزارش، نام نشريات ادواري 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 نشريات ادواري**

نام خانوادگي، حروف اول نام (هاي) مولف، " عنوان مقاله" نام نشريه ادواري، نام ناشر(در صورت وجود)، شماره مجلد و شماره نشريه، صفحات از......تا .....، سال انتشار.

**نحوه ارجاع به کتب**

نام خانوادگي، حرف اول نام مولف/ مترجم (ين)، نام کتاب، شماره ويرايش، ناشر و محل نشر، تاريخ انتشار.

**نحوه ارجاع به پايان نامه ها**

نام خانوادگي، حرف اول نام مولف (مولفين )، عنوان پايان نامه، دانشکده، دانشگاه، گزارش علمي، سال.

**نحوه ارجاع به مجموعه مقالات در کنفرانس ها**

نام خانوادگي، حرف اول نام مولف (مولفين)،" 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.

[10] پارسا، م، *مدل‌سازی انتقال حرارت در داخل لوله‌های سینوسی*، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، 1391.

[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.

[12] نادری ، م. و حسینی، س.ر.، " ارزیابی تاثیر فرایند سطحی نورد عمیق بر ساختار میکروسکوپی سطح فولاد زنگ‌نزن آستنیتی AISI316" ، مجموعه مقالات چهاردهمين سمینار ملی مهندسی سطح، ص ص 14-20، اصفهان 1392.

1. Kakac et al [↑](#footnote-ref-2)
2. Webb [↑](#footnote-ref-3)
3. Spiral tube [↑](#footnote-ref-4)
4. Traverse corrugated tube [↑](#footnote-ref-5)
5. Axisymmetric sinusoidal wavy-walled tube [↑](#footnote-ref-6)
6. Rheological [↑](#footnote-ref-7)
7. Bio Fluids [↑](#footnote-ref-8)
8. Vajjha et al [↑](#footnote-ref-9)
9. Computational Fluid Dynamics [↑](#footnote-ref-10)