دانشگاه سیستان و بلوچستان

تحصیلات تکمیلی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

عنوان:

مطالعه عددی انتقال حرارت جابجایی ترکیبی جریان آشفته سیال نانو درون لوله افقی و مایل تحت شار حرارتی غیریکنواخت در دیواره با استفاده از مدل مخلوط

استاد راهنما:

دکتر امین بهزادمهر

استاد مشاور:

دکتر محمدحسین شفیعی میم

تحقیق و نگارش:

فرهاد عیسی زایی

بهمن ۱۳۹۱

بسمه تعالی

این پایان‌نامه با عنوان **مطالعه عددی انتقال حرارت جابجایی ترکیبی جریان آشفته سیال نانو درون لوله افقی و مایل تحت شار حرارتی غیریکنواخت در دیواره با استفاده از مدل مخلوط** قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- گرایش تبدیل انرژی توسط دانشجو فرهاد عیسی زایی با راهنمایی استاد پایان‌نامه دکتر امین بهزادمهر تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می‌باشد.

(فرهاد عیسی زایی)

این پایان نامه ۶ واحد درسی شناخته می‌شود و در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۴ توسط هیئت داوران بررسی و درجه عالی به آن تعلق گرفت.

	نام و نام خانوادگی	**امضاء**	**تاریخ**
استاد راهنما:	**دکتر امین بهزادمهر**		
استاد مشاور:	**دکتر محمدحسین شفیعی میم**		
داور ۱:	**دکتر علیرضا حسین نژاددوین**		
داور ۲:	**دکتر فرامرز سرحدی**		
نماینده تحصیلات تکمیلی:	**دکتر علی اکبر دایا**		

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب فرهاد عیسی زایی تعهد می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

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

نام و نام خانوادگی دانشجو: فرهاد عیسی زایی

امضاء

تقدیم به:

روح پاک شهدای ۸ سال دفاع مقدس

آنانکه سنگری ساختند با عشق به وطن

و جاودانه شدند در تاریخ

و اینک راهشان را ادامه می‌دهیم با افتخار در سنگری دیگر.

بسمه تعالی

سپاسگزاری

در پایان بر خود لازم می‌دانم از تمام دوستان و عزیزانی که بنده را در این پایان‌نامه همکاری نموده‌اند تشکر نمایم. استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر بهزادمهر که با وجود مشکلات و گرفتاری‌های فراوان در حل مشکلات کمک شایانی نمود و جناب آقای دکتر شفیعی در امر مشاوره و جناب آقای دکتر سرحدی با راهنمایی در بدست آوردن روابط استخراجی از پایان‌نامه و از دوستان عزیزم آقایان مهدی رحمدل، بابک زاهد، صادق خلفی تشکر می‌نمایم.

چکیده

در این پایان‌نامه انتقال حرارت جابجایی ترکیبی جریان آشفته سیال نانوی آب/Al_2O_3 درون لوله مسی افقی و مایل تحت شار حرارتی غیریکنواخت در دیواره با استفاده از مدل دوفازی مخلوط بصورت عددی بررسی شده است. نیمه بالایی لوله تحت شار حرارتی و نیمه پایینی آن عایق می‌باشد. در این مطالعه قطر ذرات نانوجامد معادل ۲۸ نانومتر و کسرحجمی ۰٪، ۲٪، ۴٪ و ۵٪ در نظر گرفته شده است. اثر کسر حجمی نانوذرات، عدد گراشهف، عدد رینولدز، قطر ذرات معلق بر روی سرعت محوری، انرژی جنبشی آشفتگی، سرعت‌های ثانویه، دما، ضریب انتقال حرارت جابجایی، تنش برشی، ضریب اصطکاک سطحی مطالعه و بررسی شده است.

مشاهده شد که ضریب انتقال حرارت جابجایی با افزایش کسر حجمی ذرات افزایش می‌یابد. همچنین این ضریب با افزایش عدد رینولدز افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش زاویه نسبت به افق، افزایش عدد گراشهف، افزایش قطر ذرات معلق، ضریب انتقال حرارت جابجایی کاهش می‌یابد.

در یک لوله مایل تحت شرایط فوق و عدد رینولدز و عدد گراشهف و کسر حجمی ثابت ($\phi = 0.04$ ، $Gr = 1\times10^8$ ، $Re = 5000$) ،کاهش ضریب انتقال حرارت جابجایی در زوایای ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه نسبت به لوله افقی به ترتیب برابر ۱٪، ۱/۵٪، ۲٪ و ۲/۵٪ می‌باشد.

در یک عدد رینولدز و کسر حجمی ثابت ($\phi = 0.04$ ، $Re = 5000$) در یک لوله افقی کاهش ضریب انتقال حرارت جابجایی در اثر افزایش عدد گراشهف از $Gr = 25\times10^6$ به $Gr = 1\times10^8$ معادل ۲۷٪ و از $Gr = 1\times10^8$ به $Gr = 2\times10^8$ معادل ۱۴٪ می‌باشد.

در یک عدد گراشهف و کسر حجمی ثابت ($\phi = 0.04$ ، $Gr = 1\times10^8$) افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی در اثر افزایش عدد رینولدز از $Re = 4000$ به $Re = 5000$ معادل ۱۲٪ و از $Re = 5000$ به $Re = 6000$ معادل ۱۴٪ می‌باشد.

در یک عدد گراشهف و عدد رینولدز و کسر حجمی ثابت ($\phi = 0.04$ ، $Re = 5000$ ، $Gr = 1\times10^8$) کاهش ضریب انتقال حرارت جابجایی دراثر افزایش قطر ذرات از $d_p = 13nm$ به $d_p = 47nm$ معادل ۱۳٪ و از $d_p = 47nm$ به $d_p = 100nm$ معادل ۳٪ می‌باشد.

۴ رابطه جدید برای محاسبه عدد ناسلت و ضریب اصطکاک سطحی در لوله‌های افقی و مایل برای یک عدد گراشهف مشخص و عدد رینولدز بین ۴۰۰۰ تا ۶۰۰۰ و کسر حجمی‌های مختلف ارائه شده است.

کلمات کلیدی:

سیال نانو، انتقال حرارت ترکیبی، جریان آشفته، دو فازی، لوله افقی و مایل، قطر ذرات معلق

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- تاریخچه..... ۲

۱-۱-۱- فنآوری نانو..... ۳

۱-۱-۲- سیال نانو..... ۵

۱-۱-۳- مروری بر کارهای انجام شده..... ۷

۱-۲- اهمیت و کاربرد..... ۱۳

۱-۳- پژوهش حاضر..... ۱۳

۱-۴- ساختار پایان‌نامه..... ۱۳

فصل دوم: معرفی مدل ریاضی مسئله و روش حل آن..... ۱۴

۲-۱- تعریف مسئله..... ۱۵

۲-۲- معادلات حاکم ۱۶

۲-۳- خواص فیزیکی نانوسیال ۲۰

۲-۴- اعداد بی‌بعد مورد بررسی در مسئله..... ۲۳

۲-۵- شرایط مرزی..... ۲۴

۲-۶- حل عددی..... ۲۵

۲-۷- بررسی صحت کد محاسباتی..... ۲۶

فصل سوم: تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع..... ۳۹

۳-۱- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی سرعت محوری..... ۴۱

۳-۱-۱- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی سرعت محوری درون لوله افقی..... ۴۱

۳-۱-۲- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی سرعت محوری درون لوله مایل..... ۴۵

۳-۲- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی انرژی جنبشی آشفتگی..... ۵۰

۳-۲-۱- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی انرژی جنبشی آشفتگی درون لوله افقی..... ۵۰

۳-۲-۲- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی انرژی جنبشی آشفتگی درون لوله مایل..... ۵۱
۳-۳- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی جریانهای ثانویه..... ۵۴
۳-۳-۱- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی جریانهای ثانویه درون لوله افقی..... ۵۴
۳-۳-۲- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی جریانهای ثانویه درون لوله مایل..... ۵۶
۳-۴- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی دمای بی‌بعد ۶۰
۳-۴-۱- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی دمای بی‌بعد درون لوله افقی..... ۶۰
۳-۴-۲- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی دمای بی‌بعد درون لوله مایل..... ۶۳
۳-۵- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی ضریب انتقال حرارت ۶۹
۳-۵-۱- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی ضریب انتقال حرارت درون لوله افقی..... ۶۹
۳-۵-۲- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی ضریب انتقال حرارت درون لوله مایل..... ۷۱
۳-۶- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی تنش برشی ۷۳
۳-۶-۱- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی تنش برشی درون لوله افقی..... ۷۳
۳-۶-۲- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی تنش برشی درون لوله مایل..... ۷۵
۳-۷- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی ضریب اصطکاک سطحی..... ۷۸
۳-۷-۱- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی ضریب اصطکاک سطحی درون لوله افقی..... ۷۸
۳-۷-۲- تأثیر تغییرات نسبت حجمی جامد- مایع بر روی ضریب اصطکاک سطحی درون لوله مایل..... ۷۹

فصل چهارم: تأثیر تغییرات عدد گراشهف..... ۸۲
۴-۱- تأثیر عدد گراشهف بر روی سرعت محوری..... ۸۳
۴-۱-۱- تأثیر عدد گراشهف بر روی سرعت محوری درون لوله افقی..... ۸۳
۴-۱-۲- تأثیر عدد گراشهف بر روی سرعت محوری درون لوله مایل..... ۸۷

۴-۲- تأثیر عدد گراشهف بر روی انرژی جنبشی آشفتگی..... ۸۹
۴-۲-۱- تأثیر عدد گراشهف بر روی انرژی جنبشی آشفتگی درون لوله افقی..... ۸۹
۴-۲-۲- تأثیر عدد گراشهف بر روی انرژی جنبشی آشفتگی درون لوله مایل..... ۹۰
۴-۳- تأثیر عدد گراشهف بر روی جریانهای ثانویه ۹۱
۴-۳-۱- تأثیر عدد گراشهف بر روی جریانهای ثانویه درون لوله افقی..... ۹۱
۴-۳-۲- تأثیر عدد گراشهف بر روی جریانهای ثانویه درون لوله مایل..... ۹۳
۴-۴- تأثیر عدد گراشهف بر روی دمای بی‌بعد ۹۴
۴-۴-۱- تأثیر عدد گراشهف بر روی دمای بی‌بعد درون لوله افقی.... ۹۴
۴-۴-۲- تأثیر عدد گراشهف بر روی دمای بی‌بعد درون لوله مایل..... ۹۵
۴-۵- تأثیر عدد گراشهف بر روی ضریب انتقال حرارت ۹۶
۴-۵-۱- تأثیر عدد گراشهف بر روی ضریب انتقال حرارت درون لوله افقی..... ۹۶
۴-۵-۲- تأثیر عدد گراشهف بر روی ضریب انتقال حرارت درون لوله مایل..... ۹۷
۴-۶- تأثیر عدد گراشهف بر روی تنش برشی..... ۹۷
۴-۶-۱- تأثیر عدد گراشهف بر روی تنش برشی درون لوله افقی..... ۹۷
۴-۶-۲- تأثیر عدد گراشهف بر روی تنش برشی درون لوله مایل..... ۹۸
۴-۷- تأثیر عدد گراشهف بر روی ضریب اصطکاک سطحی ۹۹
۴-۷-۱- تأثیر عدد گراشهف بر روی ضریب اصطکاک سطحی درون لوله افقی..... ۹۹
۴-۷-۲- تأثیر عدد گراشهف بر روی ضریب اصطکاک سطحی درون لوله مایل..... ۹۹

فصل پنجم: تأثیر تغییرات عدد رینولدز..... ۱۰۱
۵-۱- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی سرعت محوری..... ۱۰۲
۵-۱-۱- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی سرعت محوری درون لوله افقی..... ۱۰۲
۵-۱-۲- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی سرعت محوری درون لوله مایل..... ۱۰۵
۵-۲- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی انرژی جنبشی آشفتگی..... ۱۰۷
۵-۲-۱- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی انرژی جنبشی آشفتگی درون لوله افقی ۱۰۷
۵-۲-۲- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی انرژی جنبشی آشفتگی درون لوله مایل ۱۰۸
۵-۳- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی جریانهای ثانویه ۱۰۹
۵-۳-۱- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی جریانهای ثانویه درون لوله افقی..... ۱۰۹
۵-۳-۲- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی جریانهای ثانویه درون لوله مایل..... ۱۱۰
۵-۴- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی دمای بی‌بعد..... ۱۱۱
۵-۴-۱- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی دمای بی‌بعد درون لوله افقی..... ۱۱۱
۵-۴-۲- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی دمای بی‌بعد درون لوله مایل..... ۱۱۳

۵-۵- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی ضریب انتقال حرارت ۱۱۴
۵-۵-۱- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی ضریب انتقال حرارت درون لوله افقی.... ۱۱۴
۵-۵-۲- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی ضریب انتقال حرارت درون لوله مایل... ۱۱۴
۵-۶- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی تنش برشی..... ۱۱۵
۵-۶-۱- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی تنش برشی درون لوله افقی..... ۱۱۵
۵-۶-۲- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی تنش برشی درون لوله مایل..... ۱۱۶
۵-۷- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی ضریب اصطکاک سطحی ۱۱۶
۵-۷-۱- تأثیر تغییرات عدد رینولدز بر روی ضریب اصطکاک سطحی درون لوله افقی..... ۱۱۶
۵-۷-۲- تأثیرتغییرات عدد رینولدز بر روی ضریب اصطکاک سطحی درون لوله مایل..... ۱۱۷

فصل ششم: نحوه‌ی توزیع فاز دوم و تأثیر قطر ذرات معلق..... ۱۱۸
۶-۱- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی سرعت محوری..... ۱۱۹
۶-۱-۱- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی سرعت محوری درون لوله افقی..... ۱۱۹
۶-۱-۲- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی سرعت محوری درون لوله مایل.... ۱۲۰
۶-۲- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی انرژی جنبشی آشفتگی..... ۱۲۱
۶-۲-۱- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی انرژی جنبشی آشفتگی درون لوله افقی..... ۱۲۱
۶-۲-۲- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی انرژی جنبشی آشفتگی درون لوله مایل..... ۱۲۲
۶-۳- نحوه‌ی توزیع فاز دوم با تغییر قطر ذرات نانو..... ۱۲۳
۶-۳-۱- نحوه‌ی توزیع فاز دوم با تغییر قطر ذرات نانو درون لوله افقی..... ۱۲۳
۶-۳-۲- نحوه‌ی توزیع فاز دوم با تغییر قطر ذرات نانو درون لوله مایل..... ۱۲۴
۶-۴- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی جریانهای ثانویه..... ۱۲۵
۶-۴-۱- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی جریانهای ثانویه درون لوله افقی... ۱۲۵
۶-۴-۲- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی جریانهای ثانویه درون لوله مایل..... ۱۲۷
۶-۵- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی دمای بی‌بعد..... ۱۲۸
۶-۵-۱- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی دمای بی‌بعد درون لوله افقی..... ۱۲۸
۶-۵-۲- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی دمای بی‌بعد درون لوله مایل..... ۱۳۱
۶-۶- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی ضریب انتقال حرارت..... ۱۳۱
۶-۶-۱- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی ضریب انتقال حرارت درون لوله افقی ۱۳۲
۶-۶-۲- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی ضریب انتقال حرارت درون لوله مایل

۶-۷- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی تنش برشی..... ۱۳۳
۶-۷-۱- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی تنش برشی درون لوله افقی..... ۱۳۳
۶-۷-۲- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی تنش برشی درون لوله مایل..... ۱۳۴
۶-۸- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی ضریب اصطکاک سطحی..... ۱۳۵
۶-۸-۱- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی ضریب اصطکاک سطحی درون لوله افقی..... ۱۳۵
۶-۸-۲- تأثیر افزایش قطر ذرات نانو بر روی ضریب اصطکاک سطحی درون لوله مایل..... ۱۳۶

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۱۳۷
۷-۲- نتیجه‌گیری..... ۱۳۸
۷-۲- روابط استخراج شده از پایان‌نامه..... ۱۴۱
۷-۳- پیشنهادات..... ۱۴۵

مراجع ۱۴۶

فهرست جدول‌ها

عنوان جدول **صفحه**

جدول ۲-۱. خصوصیات آب و اکسید آلومینیوم ۹۶٪ ۲۶

جدول ۲-۲. آزمایش استقلال شبکه‌بندی ۲۷

جدول ۳-۱. تغییرات مشخصه‌های فیزیکی نانوسیال با توجه به کسر حجمی نانوذرات ۴۰

جدول ۳-۲. شار حرارتی و عدد پرانتل با توجه به کسر حجمی نانوذرات در $d_p=28nm$ ۴۱

جدول ۶-۱. تغییرات مشخصه‌های فیزیکی نانوسیال با توجه به تغییرات قطر نانوذرات ۱۱۹

فهرست شکل‌ها

عنوان شکل **صفحه**

شکل ۲-۱ هندسه مورد بررسی(شماتیک یک لوله افقی) ۱۵

شکل ۲-۲ هندسه مورد بررسی(شماتیک یک لوله مایل از نمای جانبی) ۱۵

شکل ۲-۳ هندسه مورد بررسی(شماتیک یک لوله مایل از نمای روبرو) ۱۶

شکل ۲-۴ هندسه مورد بررسی(نمونه‌ای از مش‌بندی حوزه حل) ۲۵

شکل ۲- ۵ بررسی سرعت محوری در راستای قطر عمودی با افزایش تعداد گره‌ها در راستای شعاعی در $Z/D = 80$ ۲۸

شکل ۲- ۶ بررسی دما در راستای قطر عمودی با افزایش تعداد گره‌ها در راستای شعاعی در $Z/D = 80$ ۲۹

شکل ۲- ۷ بررسی سرعت محوری در جهت طولی بر روی خط مرکزی لوله با افزایش تعداد گره‌ها در راستای شعاعی ۳۰

شکل ۲- ۸ بررسی سرعت محوری در راستای قطر عمودی با افزایش تعداد گره‌ها در راستای محیطی در $Z/D = 80$ ۳۱

شکل ۲- ۹ بررسی دما در راستای قطر عمودی با افزایش تعداد گره‌ها در راستای محیطی در $Z/D = 80$ ۳۲

شکل ۲- ۱۰ بررسی سرعت محوری در جهت طولی بر روی خط مرکزی لوله با افزایش تعداد گره‌ها در راستای محیطی ۳۳

شکل ۲- ۱۱ بررسی سرعت محوری در راستای قطر عمودی با افزایش تعداد گره‌ها در راستای محوری در $Z/D = 80$ ۳۴

شکل ۲- ۱۲ بررسی دما در راستای قطر عمودی با افزایش تعداد گره‌ها در راستای محوری در $Z/D = 80$ ۳۵

شکل ۲-۱۳ بررسی سرعت محوری در جهت طولی بر روی خط مرکزی لوله با افزایش تعداد گره‌ها در راستای محوری ۳۶
شکل ۲- ۱۴ مقایسه کار حاضر با کار آزمایشگاهی شویی چی توری ۳۷
شکل ۲- ۱۵ مقایسه کار حاضر با رابطه تجربی گلینسکی ۳۸
شکل ۳-۱- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در $Z/D = 94 ،Gr = 25\times10^6$ ۴۲
شکل ۳-۲- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در $Z/D = 94 ،Gr = 1\times10^8$ الف - $Z/D = 94 ،Gr = 2\times10^8$ ب - ۴۳
شکل ۳-۳- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در روی خط مرکزی لوله برای کسر حجمی‌های مختلف در $Gr = 25\times10^6$ ۴۴
شکل ۳-۴- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در روی خط مرکزی لوله برای کسر حجمی‌های مختلف در $Gr = 1\times10^8$ الف - $Gr = 2\times10^8$ ب - ۴۴
شکل ۳-۵- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای زوایای مختلف در $Z/D = 94 ،Gr = 25\times10^6$ ۴۶
شکل ۳-۶- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای زوایای مختلف در $Z/D = 94 ،Gr = 1\times10^8$ الف - $Z/D = 94 ،Gr = 2\times10^8$ ب - ۴۷
شکل ۳-۷- پروفیل سرعت محوری بی بعد در روی خط مرکزی لوله برای زوایای مختلف در $Gr = 25\times10^6$ ۴۷
شکل ۳-۸- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در روی خط مرکزی لوله برای زوایای مختلف در $Gr = 1\times10^8$ الف - $Gr = 2\times10^8$ ب - ۴۸
شکل ۳-۹- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در $\alpha = 45 ،Z/D = 94 ،Gr = 25\times10^6$ ۴۹
شکل ۳-۱۰- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در $Z/D = 94 ،\ Gr = 1\times10^8$ الف - $\alpha = 45 ،Z/D = 94 ،Gr = 2\times10^8$ ب - $\alpha = 45$ ۴۹

شکل ۳-۱۱- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در روی خط مرکزی لوله برای زوایای مختلف
$\alpha = 45 ، Gr = 1\times10^8$ الف - $\alpha = 45 ، Gr = 2\times10^8$ ب - ۵۰
شکل ۳-۱۲- پروفیل انرژی جنبشی آشفتگی در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های
$Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^6$ ۵۱
شکل ۳-۱۳- پروفیل انرژی جنبشی آشفتگی در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های
$Z/D = 94 ، Gr = 1\times10^8$ الف - $Z/D = 94 ، Gr = 2\times10^8$ ب - ۵۱
شکل ۳-۱۴- پروفیل انرژی جنبشی آشفتگی در راستای قطر عمودی برای زوایای مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^6$ ۵۲
شکل ۳-۱۵- پروفیل انرژی جنبشی آشفتگی در راستای قطر عمودی برای زوایای مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 1\times10^8$ الف - $Z/D = 94 ، Gr = 2\times10^8$ ب - ۵۳
شکل ۳-۱۶- پروفیل انرژی جنبشی آشفتگی در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های
مختلف در $\alpha = 45 ، Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^6$ ۵۳
شکل ۳-۱۷- پروفیل انرژی جنبشی آشفتگی در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های
مختلف در $Gr = 1\times10^8$ ، $\alpha = 45 ، Z/D = 94$ الف - $\alpha = 45 ، Z/D = 94 ، Gr = 2\times10^8$ ب - ۵۴
شکل ۳-۱۸- بردارهای سرعت ثانویه در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^6$ ۵۵
شکل ۳-۱۹- بردارهای سرعت ثانویه در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 1\times10^8$ ۵۶
شکل ۳-۲۰- بردارهای سرعت ثانویه در راستای قطر عمودی برای زوایای مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^6$ ۵۷
شکل ۳-۲۱- بردارهای سرعت ثانویه در راستای قطر عمودی برای زوایای مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 1\times10^8$ ۵۸
شکل ۳-۲۲- بردارهای سرعت ثانویه در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف
$\alpha = 45 ، Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^6$ ۵۹

شکل ۳-۲۳– بردارهای سرعت ثانویه در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف
$\alpha = 45 ، Z/D = 94 ، Gr = 1\times10^{8}$ ۶۰
شکل ۳-۲۴- پروفیل دمای بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^{6}$ - الف $Z/D = 94 ، Gr = 1\times10^{8}$ - ب ۶۱
شکل ۳-۲۵- کانتورهای دمای بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^{6}$ ۶۲
شکل ۳-۲۶- کانتورهای دمای بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 1\times10^{8}$ ۶۳
شکل ۳-۲۷- پروفیل دمای بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای زوایای مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^{6}$ - الف $Z/D = 94 ، Gr = 1\times10^{8}$ - ب ۶۴
شکل ۳-۲۸- کانتورهای دمای بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای زوایای مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^{6}$ ۶۵
شکل ۳-۲۹- کانتورهای دمای بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای زوایای مختلف در
$Z/D = 94 ، Gr = 1\times10^{8}$ ۶۶
شکل ۳-۳۰- پروفیل دمای بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در
$\alpha = 45 ، Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^{6}$ - الف $\alpha = 45 ، Z/D = 94 ، Gr = 1\times10^{8}$ - ب ۶۷
شکل ۳-۳۱- کانتورهای دمای بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در
$\alpha = 45 ، Z/D = 94 ، Gr = 25\times10^{6}$ ۶۸
شکل ۳-۳۲- کانتورهای دمای بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای کسر حجمی‌های مختلف در
$\alpha = 45 ، Z/D = 94 ، Gr = 1\times10^{8}$ ۶۹
شکل ۳-۳۳- تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی برای کسر حجمی‌های مختلف در
طول بی‌بعد لوله $Gr = 25\times10^{6}$ ۷۰
شکل ۳-۳۴- تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی برای کسر حجمی‌های مختلف در
طول بی‌بعد لوله $Gr = 1\times10^{8}$ - الف $Gr = 2\times10^{8}$ - ب ۷۰

شکل ۳-۳۵- تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی برای زوایای مختلف در طول بی‌بعد لوله در $Gr = 25\times10^6$ ۷۱

شکل ۳-۳۶- تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی برای زوایای مختلف در طول بی‌بعد لوله در الف - $Gr = 1\times10^8$ ب - $Gr = 2\times10^8$ ۷۲

شکل ۳-۳۷- تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی برای کسر حجمی‌های مختلف در $\alpha = 45 ، Gr = 25\times10^6$ ۷۳

شکل ۳-۳۸- تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی برای کسر حجمی‌های مختلف در الف - $\alpha = 45 ، Gr = 1\times10^8$ ب - $\alpha = 45 ، Gr = 2\times10^8$ ۷۳

شکل ۳-۳۹- تغییرات تنش برشی برای کسر حجمی‌های مختلف در $Gr = 25\times10^6$ ۷۴

شکل ۳-۴۰- تغییرات تنش برشی برای کسر حجمی های مختلف در الف - $Gr = 1\times10^8$ ب - $Gr = 2\times10^8$ ۷۴

شکل ۳-۴۱- تغییرات تنش برشی برای زوایای مختلف در طول بی‌بعد لوله در $Gr = 25\times10^6$ ۷۵

شکل ۳-۴۲- تغییرات تنش برشی برای زوایای مختلف در طول بی‌بعد لوله در الف - $Gr = 1\times10^8$ ب - $Gr = 2\times10^8$ ۷۶

شکل ۳-۴۳- تغییرات تنش برشی برای کسر حجمی‌های مختلف در $\alpha = 45 ، Gr = 25\times10^6$ ۷۷

شکل ۳-۴۴- تغییرات تنش برشی برای کسر حجمی‌های مختلف در الف - $\alpha = 45 ، Gr = 1\times10^8$ ب - $\alpha = 45 ، Gr = 2\times10^8$ ۷۷

شکل ۳-۴۵- تغییرات ضریب اصطکاک سطحی برای کسر حجمی‌های مختلف در $Gr = 25\times10^6$ ۷۸

شکل ۳-۴۶- تغییرات ضریب اصطکاک سطحی برای کسر حجمی‌های مختلف در الف - $Gr = 1\times10^8$ ب - $Gr = 2\times10^8$ ۷۹

شکل ۳-۴۷- تغییرات ضریب اصطکاک سطحی برای زوایای مختلف در طول بی‌بعد لوله در $Gr = 25\times10^6$ ۷۹

شکل ۳-۴۸- تغییرات ضریب اصطکاک سطحی برای زوایای مختلف در طول بی‌بعد لوله در الف - $Gr = 1\times10^8$ ب - $Gr = 2\times10^8$ ۸۰

شکل ۳-۴۹- تغییرات ضریب اصطکاک سطحی برای کسر حجمی‌های مختلف در
$\alpha = 45 ، Gr = 25\times10^{6}$ ۸۱
شکل ۳-۵۰- تغییرات ضریب اصطکاک سطحی برای کسر حجمی‌های مختلف در
۸۱
الف- $\alpha = 45 ، Gr = 1\times10^{8}$ ب- $\alpha = 45 ، Gr = 2\times10^{8}$
شکل ۴-۱- کانتورهای سرعت محوری بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های
مختلف در $Z/D = 94 ، \alpha = 0 ، \phi = 0$ ۸۴
شکل ۴-۲- کانتورهای سرعت محوری بی بعد در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های
مختلف در $Z/D = 94 ، \alpha = 0 ، \phi = 0.04$ ۸۵
شکل ۴-۳- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های
مختلف در $Z/D = 94 ، \alpha = 0 ، \phi = 0$ الف- $Z/D = 94 ، \alpha = 0 ، \phi = 0.04$ ب- $Z/D = 94 ، \alpha = 0 ، \phi = 0$ ۸۶
شکل ۴-۴- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در روی خط مرکزی لوله برای گراشهف‌های
مختلف در $\alpha = 0 ، \phi = 0$ ۸۷
شکل ۴-۵- کانتورهای سرعت محوری بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف
$Z/D = 94 ، \alpha = 75 ، \phi = 0.04$ ۸۸
شکل ۴-۶- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در
$Z/D = 94 ، \alpha = 75 ، \phi = 0.04$ ۸۸
شکل ۴-۷- پروفیل سرعت محوری بی‌بعد در روی خط مرکزی لوله برای گراشهف‌های مختلف در
$\alpha = 75 ، \phi = 0$ ۸۹
شکل ۴-۸- پروفیل انرژی جنبشی آشفتگی در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در
$Z/D = 94 ، \alpha = 0 ، \phi = 0.04$ ۹۰
شکل ۴-۹- پروفیل انرژی جنبشی آشفتگی در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در
$Z/D = 94 ، \alpha = 45 ، \phi = 0.04$ ۹۰
شکل ۴-۱۰- بردارهای سرعت ثانویه در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در
$Z/D = 5 ، \alpha = 0 ، \phi = 0.04$ ۹۱

شکل ۴-۱۱- بردارهای سرعت ثانویه در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در $Z/D = 94 ، \alpha = 0 ، \phi = 0.04$ ۹۲

شکل ۴-۱۲- بردارهای سرعت ثانویه در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در $Z/D = 94 ، \alpha = 45 ، \phi = 0.04$ ۹۳

شکل ۴-۱۳- کانتورهای دمای بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در $Z/D = 94 ، \alpha = 0 ، \phi = 0.04$ ۹۴

شکل ۴-۱۴- کانتورهای دمای بی‌بعد در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در $Z/D = 94 ، \alpha = 45 ، \phi = 0.04$ ۹۵

شکل ۴-۱۵- تغییرات ضریب انتقال حرارت در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در $Re = 5000 ، \alpha = 0 ، \phi = 0.04$ ۹۶

شکل ۴-۱۶- تغییرات ضریب انتقال حرارت در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در $Re = 5000 ، \alpha = 45 ، \phi = 0.04$ ۹۷

شکل ۴-۱۷- تغییرات تنش برشی در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در $Re = 5000 ، \alpha = 0 ، \phi = 0.04$ ۹۸

شکل ۴-۱۸- تغییرات تنش برشی در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در $Re = 5000 ، \alpha = 45 ، \phi = 0.04$ ۹۸

شکل ۴-۱۹- تغییرات ضریب اصطکاک در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در $Re = 5000 ، \alpha = 0 ، \phi = 0.04$ ۹۹

شکل ۴-۲۰ - تغییرات ضریب اصطکاک در راستای قطر عمودی برای گراشهف‌های مختلف در $Re = 5000 ، \alpha = 45 ، \phi = 0.04$ ۱۰۰

شکل ۵-۱- کانتورهای سرعت محوری بی بعد در راستای قطر عمودی برای رینولدزهای مختلف در $Z/D = 94 ، \alpha = 0 ، \phi = 0.04$ ۱۰۳

شکل ۵-۲ - پروفیل سرعت محوری بی بعد در راستای قطر عمودی برای رینولدزهای مختلف در $Z/D = 94 ، \alpha = 0 ، Gr = 1\times10^8$ ۱۰۴