وزارت علوم ، تحقیقات و فناوری
دانشگاه شهید مدنی آذربایجان
دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد
رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

مطالعه عددی انتقال حرارت و اختلاط میکرو جت های برخوردی غیر نیوتنی

استاد راهنما:
دکتر رضا غرائی خسروشاهی

استاد مشاور:
دکتر سیما باهری اسلامی

پژوهشگر:
لیلا ساسانی گرگری

۰۶ / ۱۳۹۳
تبریز / ایران

ای هستی بخش، وجود مرا بر نعمات بی کرانت توان شکر نیست.

ذره ذره وجودم برای تو و نزدیک شدن به تو می تپد

الهی...

مرا مدد کن تا دانش اندکم نه نردبانی باشد برای فزونی تکبر و غرور

نه حلقه ای برای اسارت

و نه دست مایه ای برای تجارت

بلکه گامی باشد برای تجلیل از تو و متعالی ساختن زندگی خود و دیگران.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

در قدردانی از زحمات بی شائبه شان در تمام دوران زندگیم

تقدیر و تشکر

حال که توفیق جمع آوری و تهیه این مجموعه را یافته ام بر خود واجب می دانم از تمامی عزیزانی که در طی انجام این پژوهش از راهنمایی و یاری شان بهره مند گشته ام تشکر و قدر دانی کنم و برای ایشان از درگاه پروردگار مهربان آرزوی سعادت و پیروزی نمایم.

در آغاز امتنان و سپاسگزار تلاش ها، زحمات و راهنمایی های ظریف استاد راهنمای فرزانه ام، جناب آقای دکتر رضا غرائی خسروشاهی که قطعا بدون راهنمایی های ارزنده ی ایشان این مجموعه به انجام نمی رسید.

از استاد گرانمایه ام، سرکار خانم دکتر سیما باهری اسلامی که زحمت مطالعه و مشاوره ی این رساله را تقبل فرموده اند و در آماده سازی این پایان نامه به نحوه احسن اینجانب را مورد راهنمایی قرار داده اند، کمال امتنان را دارم.

از استاد داور محترم، جناب آقای دکتر سیامک حسین پور که زحمت باز خوانی و داوری این مجموعه را به عهده داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم.

از کلیه اساتید گروه که در دوران تحصیل از محضرشان کسب فیض نمودم، تشکر می نمایم.

در پایان از کلیه اعضای خانواده ام که در تمامی مراحل همواره حامی و مشوق من بوده اند و پیمودن روز های سخت و آسان زندگیم بدون دعای خیر و برکت وجودشان غیر ممکن بود.

لیلا ساسانی

تابستان ۱۳۹۳

چکیده

در این پایان نامه برای مطالعه عددی رفتار سیالات غیر نیوتنی و با هدف مدل سازی جریان سیال جت های برخوردی یک برنامه کامپیوتری به زبان فرترن بر مبنای روش تفاضل محدود پروجکشن صریح نوشته شده است. از مدل قانون توانی جهت تعیین رفتار غیر نیوتنی ویسکوزیته سیال پایه استفاده شده است. در این مطالعه جریان و انتقال حرارت در حضور نانو ذرات اکسید مس (CuO) در جت برخوردی نوسانی به کار گرفته شده است. سیال پایه مورد استفاده محلول آبی ۰/۵ درصد وزنی کربوکسی متیل سلولوز (CMC) می باشد. با فرض این که ذرات نانو با سیال پایه در تعادل هیدرودینامیکی وگرمایی قرار دارند، به مدل سازی تک فازی این نوع سیالات پرداخته شده است. بنابراین در بخش اولیه کار حاضر، با در نظر گرفتن اثر تغییر سینوسی دهانه جت برخوردی که منجر به تغییر همزمان اندازه و سرعت جت می شود، به بررسی تاثیر نانو ذرات وتاثیر میزان درصد کسر حجمی ذرات نانو بر رفتار هیدرودینامیکی و انتقال حرارت یک نانو سیال غیر نیوتنی در فرکانس‌های نوسانی متفاوت می پردازیم. بنابراین نتایج عددی نشان می دهند که در یک سرعت ورودی معین، در اثر افزودن نانوذرات به سیال پایه غیر نیوتنی و با اعمال نوسان، گردابه های متحرک ثانویه ایجاد شده به میزان قابل توجهی باعث افزایش نرخ انتقال حرارت می شوند. این در حالی است که برای نانو سیالی با کسر حجمی ۲٪ و با فرکانس $\omega=0.25$ بیشترین میزان انتقال حرارت صورت می گیرد.

در بخش دیگری از این مطالعه به شبیه سازی میکرو جت های متقابل محدود شده سه بعدی در رژیم جریان آرام پرداخته شده است. در این مطالعه هیدرودینامیک جریان و رفتار اختلاط در میکرو کانال ها با سیالات کاری غیر نیوتنی، حاصل از برخورد دو جت مستطیلی متقابل آرام محصور با عرض دهانه متغیر با استفاده از مدل توانی بررسی می شود. سیال کاری محلول آبی کربوکسی متیل سلولوز(CMC) با شاخص توانی و ضریب سازگاری سیال غیر نیوتنی ثابت و یا وابسته به درصد جرمی CMC در نظر گرفته شده است. به منظور بهبود عملکرد اختلاط میکرو جت های برخوردی متقابل، بر دهانه های هر دو جت به صورت سینوسی نوسان اعمال می شود. با استفاده از نتایج حل عددی، اثرات عدد رینولدز، فرکانس نوسانی و... بر روی عملکرد اختلاط مورد بررسی قرار می گیرد. ملاحظه می شود که در جریان میکرو جت های متقابل در طول یک میکرو کانال، سیالات رقیق شونده برشی عملکرد اختلاط خوبی نسبت به سایر سیالات دارند. همچنین برای میکرو جت های متقابل نوسانی نسبت به حالت پایا بهبود اختلاط وجود دارد.

کلید واژه ها: میکرو جت، سیال غیر نیوتنی، انتقال حرارت، اختلاط، نانو سیال

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ..... یک

فصل اول مقدمه و پیشینه پژوهش

۱-۱. جت های برخوردی و کاربرد های آن ۱
۱-۱-۱. تحقیقات انجام شده بر روی جت های برخوردی ۳
۱-۱-۲. تحقیقات انجام شده بر روی جت های برخوردی نوسانی ۵
۱-۲. نانو سیالات ٦
۱-۲-۱. تحقیقات انجام شده بر روی رفتار نانو سیالات با سیال پایه نیوتنی ۷
۱-۲-۲. تحقیقات انجام شده بر روی رفتار نانو سیالات با سیال پایه غیر نیوتنی ۹
۱-۳. بررسی عملکرد فرایند اختلاط ۱۱
۱-۳-۱. تحقیقات انجام شده بر روی عملکرد اختلاط ۱۲
۱-٤. پروژه حاضر ۱۸

فصل دوم مواد و روش ها

۲-۱. بررسی رفتار سیالات نیوتنی..... ۲۱
۲-۱-۱. معادلات اساسی برای سیالات نیوتنی ۲۲
۲-۲. رفتار سیالات غیر نیوتنی ۲۳
۲-۲-۱. رفتار جریان سیالات غیر نیوتنی مستقل از زمان ۲٤
۲-۲-۱-۱. سیالات دارای تنش تسلیم ۲۵
۲-۲-۱-۲. سیالات فاقد تنش تسلیم ۲۵
۲-۲-۲. رفتار جریان سیالات غیر نیوتنی تابع زمان ۲۹
۲-۲-۳. سیالات ویسکو الاستیک ۲۹
۲-۲-٤. معادلات اساسی برای سیالات غیر نیوتنی ۲۹
۲-۳. رفتار نانو سیالات ۳۱
۲-۳-۱. معادلات اساسی برای نانو سیالات غیر نیوتنی ۳۲
۲-۳-۲. خواص ترمو- فیزیکی به کار برده شده در جریان نانو سیالاتغیر نیوتنی CuO-CMC..... ۳۳

۲-٤. انتقال گرما و جریان سیال در میکرو کانال ها ۳٦
۲-۵. فرایند اختلاط در میکرو میکسر ها ۳۷
۲-۵-۱. معادلات اساسی برای اختلاط سیالات غیر نیوتنی با ضریب قانون توانی و ضریب سازگاری متغیر با درصد های جرمی ۳۸
۲-٦. روش های حل عددی معادلات حاکم ٤٤
۲-۷. تعریف هندسه و شرایط مرزی حاکم بر مطالعه عددی انتقال حرارت جت برخوردی نانو سیالات غیر نیوتنی با دهانه ورودی متغیر ٤۹
۲-۸. تعریف هندسه و شرایط مرزی حاکم بر مطالعه عددی انتقال حرارت و اختلاط میکرو جت های برخوردی غیر نیوتنی..... ۵۱

فصل سوم نتایج و بحث

۳-۱. بررسی نتایج مطالعه عددی انتقال حرارت جت برخوردی نانو سیالات غیر نیوتنی با دهانه ورودی متغیر..... ۵٤
۳-۲. بررسی نتایج مطالعه عددی انتقال حرارت و اختلاط میکرو جت های برخوردی غیر نیوتنی ۷۷

نتیجه گیری..... ۱۰۸
پیشنهادات ارائه شده ۱۱۱
پیوست ۱۱۲
مراجع و منابع ۱۱٤

Abstract

فهرست علائم و نشانه ها

ویسکوزیته سیال ..... μ

تانسور تنش ..... τ

تانسور نرخ برش ..... $\dot{\gamma}$

سرعت بی بعد در راستای x, y, z ..... U, V, W

دمای بی بعد ..... θ

عدد رینولدز ..... Re

عدد نوسلت ..... Nu

عدد پرانتل ..... Pr

عدد اشمیت ..... Sc

فشار بی بعد ..... P

شاخص قانون توانی ..... n

ضریب سازگاری ..... m

نانو سیال ..... nf

نانو ذره ..... p

سیال پایه ..... bf

کسر حجمی ..... ϕ

پهنای نازل ..... B

دیفیوژن جرمی ..... D

غلظت C

شاخص قانون توانی بی بعد ..... n^*

ضریب سازگاری بی بعد ..... m^*

غلظت بی بعد ..... c^*

متوسط عرض دهانه جت ..... B_0

فرکانس ..... ω

دامنه نوسان ..... A

دبی جریان ..... Q

عدد نوسلت میانگین مکانی- زمانی ..... Nu_{ave}

عدد نوسلت میانگین مکانی ..... Nu_A

مدت زمان نوسان ..... τ

واریانس درصد جرمی ..... σ
شاخص اختلاط ..... MI
زمان بی بعد..... t
زمان ..... t'

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ خواص ترمو فیزیکی۰٫۵ درصد وزنی CMC با نانو ذره CuO ۳۵
جدول ۲-۲ خواص رئولوژیکی برای سیال غیر نیوتنی ۰٫۵ درصد وزنی CMC براساس مدل قانون توانی [٤]..... ۳٦

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ بررسی رفتار سیال نیوتنی ۲۱

شکل۲-۲ بررسی تنش برشی_نرخ برش برای سیال نیوتنی ۲۲

شکل۲-۳ انواع رفتار های جریان سیالات غیر نیوتنی مستقل از زمان ۲٤

شکل ۲-٤ بیان شماتیک رفتار جریان سیالات رقیق شونده برشی ۲٦

شکل۲-۵ نمایش ویسکوزیته های برشی صفر و برشی بی نهایت برای یک محلول پلیمری رقیق شونده برشی..... ۲۷

شکل ۲-٦ نمودار رسانندگی گرمایی نانوسیال CuO-0.5 wt % CMC برحسب کسر حجمی نانوذرات به ازای پنج دمای مختلف ۳۵

شکل۲-۷ طرح تقسیم بندی برای انواع میکرو میکسرها ۳۸

شکل ۲-۸ پروفیل سرعت بی بعد در ناحیه توسعه یافته برای سیال رقیق شونده برشی با n=0.5 و Re=300 به منظور مقایسه نتایج حل عددی با حل تحلیلی ٤۸

شکل ۲-۹ نمای شماتیک از یک جت برخوردی نوسانی دو بعدی ٤۹

شکل ۲-۱۰ نمای شماتیک از جت برخوردی متقابل نوسانی ۵۲

شکل ۳-۱ پروفیل سرعت برای بررسی استقلال حل از شبکه در Re=200 .....۵۵

شکل ۳-۲ تغییرات عدد نوسلت محلی در طول دیواره برخوردی برای جت پایا و سیال نیوتنی با Re=125, 250..... ۵۵

شکل ۳-۳ تغییرات عدد نوسلت محلی در راستای دیواره برخوردی در حالت پایا برای Re=100 در Φ=0,2%,4%.... ۵۵

شکل ۳-٤ تغییرات سرعت ورودی جت نسبت به کسر حجمی نانو ذرات در Re=100, 150, 200..... ۵۷

شکل۳-۵ پروفیل سرعت در حالت پایا برای Re=100 درΦ=0,2%,4%.....۵۸

شکل ۳-٦ تغییرات ماکزیمم عدد نوسلت میانگین زمانی نسبت به اعداد رینولدز در فرکانس های نوسانی مختلف;(الف) Φ=0، (ب) Φ=2%، (ج) Φ=3%..... ۶۰

شکل ۳-۷ الگوی جریان برای سیال پایه غیر نیوتنی در یک سرعت ورودی ثابت با Φ= 0 و فرکانس نوسانی ω=0.25 (الف) t=0.16 τ, (ب) t=0.24 τ,(ج) t=0.32 τ,(د) t=0.4 τ,(ه) t=0.48 τ ٦۲

شکل ۳-۸ توزیع دمای بی بعد برای سیال پایه غیر نیوتنی در یک سرعت ورودی ثابت با Φ= 0%و فرکانس نوسانی ω=0.25; (الف) t=0.16 τ, (ب) t=0.24 τ,(ج) t=0.32 τ,(د) t=0.4 τ,(ه) t=0.48 τ..... ٦۳

شکل ۳-۹ الگوی جریان برای نانوسیال غیر نیوتنی در یک سرعت ورودی ثابت با Φ=2%و فرکانس نوسانی ω=0.25 (الف) t=0.16 τ, (ب) t=0.24 τ,(ج) t=0.32 τ,(د) t=0.4 τ,(ه) t=0.48 τ ٦٣
شکل ۳-۱۰ توزیع دمای بی بعد برای نانوسیال غیر نیوتنی در یک سرعت ورودی ثابت با Φ=2%و فرکانس نوسانی ω=0.25 (الف) t=0.16 τ, (ب) t=0.24 τ,(ج) t=0.32 τ,(د) t=0.4 τ,(ه) t=0.48 τ ٦٤
شکل ۳-۱۱ تغییرات عدد رینولدز نسبت به درصد حجمی نانو ذرات در سرعت ورودی ثابت ٦٥
شکل ۳-۱۲ الگوی جریان برای نانوسیال غیر نیوتنی در یک سرعت ورودی ثابت با Φ=2%و فرکانس نوسانی ω= 2 (الف) t=0.16 τ, (ب) t=0.24 τ,(ج) t=0.32 τ,(د) t=0.4 τ,(ه) t=0.48 τ ٦٦
شکل ۳-۱۳ توزیع دمای بی بعد برای نانوسیال غیر نیوتنی در یک سرعت ورودی ثابت با Φ=2%و فرکانس نوسانی ω= 2 (الف) t=0.16 τ, (ب) t=0.24 τ,(ج) t=0.32 τ,(د) t=0.4 τ,(ه) t=0.48 τ ٦٧
شکل ۳-۱٤ تغییرات زمانی عدد نوسلت میانگین مکانیدر یک سرعت ورودی ثابتو در Φ= 0, 2%, 4% برای فرکانس های نوسان مختلف،(الف) ω=0.25 (ب) ω=0.5 (ج) ω=2..... ٦٩
شکل ۳-۱۵ نسبت تغییرات عدد نوسلت میانگین مکانی- زمانی به عدد نوسلت حالت پایا، با فرکانس های نوسانی مختلف برای کسر حجمی های Φ=1%, 2%, 4%..... ٧٠
شکل ۳-۱٦ پروفیل دما برای فرکانس های نوسانی مختلف، با کسر حجمی های مختلف در موقعیت X=19.5(الف) Φ= 0. (ب) Φ= 2% (ج) Φ= 4% ٧١
شکل ۳-۱۷ تغییرات نسبت بیشینه عدد نوسلت میانگین زمانی به بیشینه عدد نوسلت میانگی زمانی سیال پایه غیر نیوتنی با فرکانس های نوسانی مختلف، در یک سرعت ورودی ثابت برای Φ= 2%,4% ٧٣
شکل ۳-۱۸ تغییرات عدد نوسلت محلی نسبت به زمان در یک سرعت ورودی ثابت، در فرکانس های نوسانی مختلف، برای Φ= 0، در موقعیت های (الف) X= 3، (ب)X =5، (ج) X= 7 ..... ٧٤
شکل ۳-۱۹ تغییرات عدد نوسلت محلی نسبت به زمان در یک سرعت ورودی ثابت، در فرکانس های نوسانی مختلف، برای Φ=2%، در موقعیت های (الف) X= 3، (ب)X =5، (ج) X= 7 ..... ٧٦
شکل۳-۲۰ نتایج شاخص اختلاط برای Re=100, Sc=0.7 به منظور بررسی عدم حساسیت حل به (الف) اندازه شبکه (ب) گام زمانی ٧٨
شکل ۳-۲۱ تغییرات عدد نوسلت محلی در طول دیواره برخوردی برای جت پایا و سیال نیوتنی با Re=100, Ri=1.....٧٩
شکل ۳-۲۲ الگوی جریان در روی صفحه x-yدر Re=30 و اختلاط دو سیال غیر نیوتنی با درصد جرمی ثابت، (الف) n=0.6، (ب) n=1، (ج) n=1.4 ..... ٨٠
شکل ۳-۲۳ توزیع غلظت در روی صفحه x-yدر Re=30 و اختلاط دو سیال غیر نیوتنی با درصد جرمی ثابت، (الف) n=0.6، (ب) n=1، (ج) n=1.4 ..... ٨١
شکل۳-۲٤ تغییرات شاخص اختلاط در طول میکروکانال، در حالت پایا برای سیالات غلیظ شونده برشی، نیوتنی و رقیق شونده برشی، (الف) Re=10، (ب) Re=30 ..... ٨٢

شکل ۳-۲۵ الگوی جریان در روی صفحه x-zدر Re=50 و اختلاط دو سیال غیر نیوتنی با درصد های جرمی مختلف،۰٫۰۱٪ و ۰٫۰۵٪، (الف) Y=0.05، (ب) Y=0.5، (ج) Y=0.95 ..... ۸٤
شکل ۳-۲٦ الگوی جریان در روی صفحه x-zدر Re=50 و اختلاط سیال نیوتنی با یک سیال غیر نیوتنی CMC با درصد جرمی ۰٫۰۵٪، (الف) Y=0.05، (ب) Y=0.5، (ج) Y=0.95 ..... ۸۵
شکل ۳-۲۷ الگوی جریان در روی صفحه x-yو اختلاط دو سیال غیر نیوتنی با درصد های جرمی مختلف، ۰٫۰۱٪ و ۰٫۰۵٪، (الف) Re=10، (ب) Re=30، (ج) Re=50 ..... ۸٦
شکل ۳-۲۸ توزیع غلظت در روی صفحه x-y و اختلاط دو سیال غیر نیوتنی با درصد های جرمی مختلف، ۰٫۰۱٪ و ۰٫۰۵٪، (الف) Re=10، (ب) Re=30، (ج) Re=50 ..... ۸۷
شکل ۳-۲۹الگوی جریان در روی صفحه x-yدر Re=50 و اختلاط سیال نیوتنی با یکسیال غیر نیوتنی CMC با درصد جرمی ۰٫۰۵٪، (الف) Re=10، (ب) Re=30، (ج) Re=50 ..... ۸۸
شکل ۳-۳۰ توزیع غلظت در روی صفحه x-yدر Re=50و اختلاط سیال نیوتنی با یکسیال غیر نیوتنی CMC با درصد جرمی ۰٫۰۵٪، (الف) Re=10، (ب) Re=30، (ج) Re=50 ..... ۸۸
شکل ۳-۳۱ تغییرات شاخص اختلاط در طول میکروکانال با اختلاط دو سیال غیر نیوتنی با درصد های جرمی ۰٫۰۱٪ و ۰٫۰۵٪، برای اعداد رینولدز مختلف ۹۰
شکل ۳-۳۲ تغییرات شاخص اختلاط در طول میکروکانال با اختلاط دو سیال نیوتنی و سیال غیر نیوتنی CMC با درصد جرمی ۰٫۰۵٪، برای اعداد رینولدز مختلف ۹۰
شکل ۳-۳۳ الگوی جریان در روی صفحه x-yدر Re=10 با اختلاط دو سیال رقیق شونده برشی با n=0.6 و فرکانس های نوسانی$\omega_1=1.0$, $\omega_2=1.0$;(الف) t=0.3τ, (ب) t=0.4 τ,(ج) t=0.55τ,(د) t=0.65τ ۹۱
شکل ۳-۳٤ توزیع غلظت در روی صفحه x-yدر Re=10 با اختلاط دو سیال رقیق شونده برشی با n=0.6 و فرکانس های نوسانی$\omega_1=1.0$, $\omega_2=1.0$;(الف) t=0.3τ, (ب) t=0.4 τ,(ج) t=0.55τ,(د) t=0.65τ ۹۲
شکل ۳-۳۵ الگوی جریان در روی صفحه x-yدر Re=30 با اختلاط دو سیال رقیق شونده برشی با n=0.6 و فرکانس های نوسانی$\omega_1=1.0$, $\omega_2=1.0$;(الف) t=0.3τ, (ب) t=0.4 τ,(ج) t=0.55τ,(د) t=0.65τ ۹۳
شکل ۳-۳٦ توزیع غلظت در روی صفحه x-yدر Re=30 با اختلاط دو سیال رقیق شونده برشی با n=0.6 و فرکانس های نوسانی$\omega_1=1.0$, $\omega_2=1.0$;(الف) t=0.3 τ, (ب) t=0.4 τ,(ج) t=0.55 τ,(د) t=0.65 τ ۹٤
شکل ۳-۳۷ الگوی جریان در روی صفحه x-yدر Re=10 با اختلاط دو سیال رقیق شونده برشی با n=0.6 و فرکانس های نوسانی $\omega_1=1.0$, $\omega_2=0.5$;(الف) t=0.3 τ, (ب) t=0.4 τ,(ج) t=0.55 τ,(د) t=0.65 τ ۹۵
شکل ۳-۳۸ توزیع غلظت در روی صفحه x-yدر Re=10 با اختلاط دو سیال رقیق شونده برشی با n=0.6 و فرکانس های نوسانی $\omega_1=1.0$, $\omega_2=0.5$;(الف) t=0.3 τ, (ب) t=0.4 τ,(ج) t=0.55 τ,(د) t=0.65 τ ۹٦

شکل ۳-۳۹ الگوی جریان در روی صفحه x-yدر Re=30 با اختلاط دو سیال رقیق شونده برشی با n=0.6 و فرکانس های نوسانی $\omega_2=0.5$, $\omega_1=1.0$;(الف) t=0.3 τ, (ب) t=0.4 τ,(ج) t=0.55 τ,(د) t=0.65 τ.....۹۶
شکل ۳-۴۰ توزیع غلظت در روی صفحه x-yدر Re=30 با اختلاط دو سیال رقیق شونده برشی با n=0.6 و فرکانس های نوسانی $\omega_2=0.5$, $\omega_1=1.0$;(الف) t=0.3 τ, (ب) t=0.4 τ,(ج) t=0.55 τ,(د) t=0.65 τ ۹۷
شکل ۳-۴۱ الگوی جریان در روی صفحه x-zدر Re=30 با اختلاط دو سیال رقیق شونده برشی با n=0.6 و فرکانس های نوسانی $\omega_2=0.5$, $\omega_1=1.0$;(الف) t=0.3 τ, (ب) t=0.4 τ,(ج) t=0.55 τ,(د) t=0.65 τ..... ۱۰۰
شکل ۳-۴۲ الگوی جریان در روی صفحه x-zدر Re=30 با اختلاط دو سیال نیوتنی با n=1.0 و فرکانس های نوسانی ω2=0.5 , ω1=1.0;(الف) t=0.3 τ, (ب) t=0.4 τ,(ج) t=0.55 τ,(د) t=0.65 τ ۱۰۲
شکل ۳-۴۳ الگوی جریان در روی صفحه x-zدر Re=30 با اختلاط دو سیال غلیظ شونده برشی با n=1.4 و فرکانس های نوسانی $\omega_2=0.5$, $\omega_1=1.0$;(الف) t=0.3 τ, (ب) t=0.4 τ,(ج) t=0.55 τ,(د) t=0.65 τ..... ۱۰۴
شکل۳-۴۴ تغییرات شاخص اختلاط سیال نسبت به زمان نوسان، برای سیالات رقیق شونده برشی با n=0.6، در Re=10 ودر فرکانس های نوسان مختلف، (الف) X=2، (ب) X=3، (ج) X=4 ..... ۱۰۵
شکل۳-۴۵ تغییرات شاخص اختلاط سیال نسبت به زمان نوسان، برای سیالات رقیق شونده برشی با n=0.6، در Re=30 ودر فرکانس های نوسان مختلف،(الف) X=2، (ب) X=3، (ج) X=4 ..... ۱۰۷

فصل اول

مقدمه و پیشینه پژوهش

۱-۱. جت های برخوردی و کاربرد های آن

مقاومت در لایه مرزی فرایند های انتقال، تاثیر به سزایی در میزان انتقال دارد. چنانچه بتوان به روشی ضخامت این لایه را کاهش داد بهبود قابل توجهی در افزایش میزان انتقال جرم، حرارت و ممنتوم حاصل خواهد شد. یکی از روش های نسبتا جدید در این ارتباط استفاده از جت های برخوردی خواهد بود. در این روش با اعمال ممنتوم قابل توجه به یک سیال خروجی از نازل و برخورد آن به سطح مورد نظر در فرایند، در لایه مرزی اختلال ایجاد نموده و مقاومت در برابر انتقال کاهش می یابد. یکی از موارد وسیع استفاده از جت های برخوردی، در پدیده های انتقال حرارت می باشد. انتقال حرارت توسط جت برخوردی به علت آشفتگی که توسط جت بر روی سطح ایجاد می شود، عموما بیشتر از انتقال حرارت همرفتی می باشد.

به خاطر مزیت مهم جت های برخوردی نسبت به روش های سنتی دیگر، جت های برخوردی کاربرد های فراوان و متنوعی در صنعت دارند که از آن جمله می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- فرایند های سرمایشی : که این فرایند ها شامل خنک کاری راکتور های شیمیایی، پره ها و اجزای توربین گازی و قطعات الکترونیکی می شود.

- فرایند های خشک کردن : که در صنایع کاغذ سازی، داروئی، غذایی و صنایع نساجی کاربرد های فراوان دارند.
- مه زدایی و یخ زدایی
- فرایند های گرمایش و سرمایشی

تمام موارد ذکر شده در یک نکته اساسی مشترکند که جت های برخوردی با ایجاد آشفتگی در لایه مرزی و در هم شکستن آن و کم کردن مقاومت در برابر انتقال، میزان ضریب انتقال را بالا برده و باعث تسهیل انتقال جرم، ممنتوم یا حرارت می شوند. جت های برخوردی می توانند محصور شده[1] محصور نشده[2] نیمه محصور[3] باشند. به این معنی که جت برخوردی محصور شده از تقاطع جت با یک صفحه حاصل می شود که می تواند این صفحه تخت یا منحنی باشد در نتیجه سیال خارج شده از نازل بین صفحه برخورد و صفحه مذکور قرار می گیرد و باعث ایجاد گردابه و تلاطم در سیال می شود. در جت برخوردی محصور نشده این صفحه وجود ندارد و سیال خروجی از نازل می تواند آزادانه با سیال محیط اختلاط داشته باشد. در حالت نیمه محصور شده نیز قسمتی از جت برخوردی محصور شده می باشد.

نازل های جت برخوردی می توانند شکل های مختلفی مثل مدور، مربعی، مستطیلی و حتی بیضوی داشته باشند که نوع مستطیلی آن می تواند دارای عرض بسیار کم باشد که در این صورت جت از نوع شیاری است و در کار حاضر نیز از نازل مستطیلی شکل استفاده شده است.

در جریان جت، گردابه ها در ناحیه لایه برشی شروع به تشکیل شدن می کنند که دلیل آن نیز ناپایداری کلوین هلمهولتز[4] است. همین طور که گردابه ها به سمت پایین دست جریان حرکت می کنند و از نازل دور می شوند هر گردابه می تواند رشد کند و ساختاری سه بعدی پیدا کند که این پدیده به دلیل ناپایداری های ثانویه اتفاق می افتد. این ناپایداری های ثانویه می توانند به فرایند جدا شدن و وصل شدن منجر شوند. گردابه ها بسته به اندازه و قدرتشان بر روی پخش شدن جت، طول هسته پتانسیلی و میزان حمل سیال محیط توسط جت تاثیر می گذارند. در مواردی گردابه های جت می توانند جفت شوند و گردابه های بزرگتر ولی ضعیف تر را تشکیل دهند هر چه از نازل دورتر می شویم گردابه ها می شکنند و به آشفتگی هایی در مقیاس کوچک تبدیل می شوند. در حالت جفت شدن گردابه ها، گردابه ها در لایه برشی و در فرکانس هاس خاصی ایجاد می شوند. این گردابه ها در همان فرکانسی که تشکیل شده اند و به دور خود می چرخند با همان فرکانس از لایه برشی عبور می کنند. زمانی که گردابه ها جفت می شوند فرکانس عبوری نصف می شود.

---

[1] Confiend
[2] Unconfiend
[3] Semi Confiend
[4] Kinetic history

مانند سایر پدیده های مکانیک سیالات، سرعت میدان جریان در انتقال حرارت توسط جت های برخوردی پارامتر مهمی به شمار می آید. اثر این پارامتر را با عدد بدون بعد رینولدز در پدیده ها بررسی می کنند. مقدار عدد رینولدز تاثیر مستقیم بر نوع جریان در داخل نازل جت دارد. به طوریکه پایین بودن آن مبنی بر آرام بودن جریان و زیاد بودن آن دلیل بر متلاطم بودن جریان در نازل است و این آرام و متلاطم بودن ارتباط مستقیم با میزان انتقال حرارت توسط جت برخوردی از روی صفحه برخوردی دارد که هدف اصلی استفاده از جت برخوردی است.

۱-۱-۱. تحقیقات انجام شده بر روی جت های برخوردی

جت های برخوردی دارای کاربردهای صنعتی و مهندسی زیادی می باشند که از آن جمله می توان به خنک کاری یا پوشش دهی سریع سطوح، خنک کاری داخلی پره های توربین گازی و خنک کاری اجزای الکترونیکی اشاره نمود. با توجه به کاربردهای وسیع این نوع جریان و ارجحیت داشتن آن بر روش های معمول دیگر محققان زیادی آن را مطالعه و از جهات مختلف بررسی کرده اند و اثر عوامل مختلف بر کارائی جت در بالا بردن نرخ انتقال حرارت را مورد مطالعه قرار داده اند. از آن جمله می‌توان به کارهای لین و همکاران [۱]، لی و همکاران [۲] و کاواداس و همکاران [۳] بر روی جت شیاری آرام برخورد کننده بر صفحه تخت اشاره کرد.

لی و همکاران [٤] جریان جت محدود شده در حضور میدان مغناطیسی را به صورت عددی مورد مطالعه قرار دادند و اثرات میدان مغناطیسی و اعداد رینولدز مختلف بر روی جریان سیال و انتقال حرارت را بررسی کردند. آنها همچنین با در نظر گرفتن وجود و عدم وجود میدان مغناطیسی نتایج را مورد تحلیل قرار دادند. در مطالعه آنها برای حل معادلات حاکم بر جریان دو بعدی ناپایا از روش حجم محدود استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان دادند که زمانی که میدان مغناطیسی به کار برده شده افزایش یابد، گردابه های ایجاد شده در کانال به صورت ضعیفی شکل می گیرند و دامنه نوسان ناشی از ناپایداری جت برخوردی کاهش پیدا می کند.

الدباغ و محمد [٥] جریان آرام یک تک جت برخوردی با مقطع مربعی را با حل عددی معادلات ناویر استوکس و انرژی در حالت پایا مورد بررسی قرار داده اند تا اثرات جابجایی مختلط و تاثیر پارامتر های مختلف بر ساختار جریان و انتقال حرارت را مطالعه کنند. نتایجی که از این تحقیقات بدست آوردند نشان می دهد که برای اعداد رینولدز یکسان، افزایش عدد ریچاردسون نرخ انتقال حرارت را تغییر نمی دهد. آنها ملاحظه نمودند که در حالت کلی با افزایش عدد رینولدز جت برای عدد ریچاردسون یکسان و کاهش نسبت ظاهری، افزایش

نرخ انتقال حرارت وجود دارد. قابل ذکر می باشد که جهت اطمینان از صحت نتایج عددی برنامه سه بعدی، نتایج کار عددی حاضر با نتایج عددی این مطالعه مقایسه شده است.

با توجه به اهمیت جت های برخوردی در خنک کاری سطوح داغ، تکنیک های مختلفی برای افزایش نرخ انتقال حرارت بین جت و صفحه برخوردی به کار برده شده است که از آن جمله می توان به استفاده از سیالات غیر نیوتنی و ایجاد سرعت نوسانی در جت اشاره نمود. پوه و همکاران [٦] و کاواداس و همکاران [٧] جریان جت برخوردی را به صورت عددی و تجربی مورد مطالعه قرار دادند و نتایج آنها حاکی از امکان افزایش انتقال حرارت با استفاده از سیال غیر نیوتنی مناسب است.

برای بررسی رفتار جریان سیالات غیر نیوتنی در میکروکانال های مستطیلی شکل، محجوب و همکاران [٨] از روش عددی استفاده کردند. در این مطالعه با اعمال شرط لغزشی به عنوان شرایط مرزی در دیواره ها، تاثیر شاخص های توانی مختلف، به خصوص برای نسبت های ظاهری مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج عددی نشان دادند که به دلیل داشتن پروفیل سرعت تخت تر برای شاخص های قانون توانی پایین تر، اثرات سرعت لغزشی در دیواره میکرو کانال و نسبت ظاهری، روی سیالات غلیظ شونده بیشتر از سیالات رقیق شونده قابل توجه هستند.

چاتارجی و همکاران [٩] جریان جت برخوردی غیر نیوتنی را به صورت عددی مورد مطالعه قرار دادند. آنها با استفاده از نتایج حل عددی، اثرات فاصله نازل تا صفحه بی بعد، پارامتر های فیزیکی، عدد رینولدز و عدد پرانتل بر روی نرخ انتقال حرارت نقطه سکون را بررسی کردند. برای شبیه سازی از مدل ویسکوزیته کارو[1] استفاده کردند. آنها مشاهده نمودند که اختلافات مهمی در توزیع جریان توسعه یافته بین سیال با مدل کارو و سیالات نیوتنی وجود دارد. محاسبات به صورت آشکاری نشان دادند که برای سیالات رقیق شونده برشی یک بیشینه انتقال حرارت در نقطه سکون مشاهده می شود در حالیکه برای سیالات نیوتنی چنین نیست. البته قابل ذکر است که موقعیت و بزرگی این بیشینه تابعی از نسبت فاصله نازل تا صفحه بی بعد می باشد. در یک نسبت خیلی کوچک (e=1/4) حتی برای سیالات نیوتنی نیز یک بیشینه انتقال حرارت در نقطه سکون دیده می شود.

[1] Carreau

۱-۱-۲. تحقیقات انجام شده بر روی جت های برخوردی نوسانی

در زمینه جت شیاری برخوردی با سرعت نوسانی کارهای مختلفی انجام شده است که از آن جمله می توان به کار دمیرکان و تورک اغلو [۱۰] اشاره نمود که ساختار جریان و ویژگی های انتقال حرارت جت های برخوردی با سرعت نوسانی را به صورت عددی مورد مطالعه قرار دادند. در این مقاله اثرات عدد رینولدز، دامنه نوسان و فرکانس جت نوسانی را بر روی جریان وانتقال حرارت مورد بررسی قرار گرفته است. ملاحظه شده است که در حالتی که جت نوسان پیدا می کند، میانگین عدد نوسلت در مقایسه با عدد نوسلت جت های پایا افزایش یافته است. آنها همچنین ملاحظه نمودند که ساختار کلی میدان جریان جت های نوسانی مشابه میدان جریان جت های پایا می باشد. بنابراین گزارش شده است که در مورد جت های نوسانی، ناحیه های جریان چرخشی و متحرک در جریان شکل می گیرد و با افزایش عدد رینولدز و دامنه نوسان، نواحی جریان چرخشی بیشتر ظاهر شده و با افزایش فرکانس این نواحی ناپدید می شوند. نتایج عددی نشان می دهند که در یک زمان مشخص از مدت زمان نوسان، عدد نوسلت محلی در نقطه برخورد ماکزیمم مقدار را دارد و در طول صفحه برخوردی کاهش پیدا می کند و مقادیر بیشینه و کمینه (نوسانات) به دلیل متحرک بودن ناحیه های چرخشی روی صفحه پایینی می باشد. اعداد نوسلت نقطه سکون برای همه جت های نوسانی در نظر گرفته شده به جزء در عدد رینولدز پایین و فرکانس پایین بیشتر از جت های پایای متناظر می باشد. همچنین با افزایش عدد رینولدز و افزایش دامنه نوسان، افزایش عدد نوسلت ملاحظه شده است.

یک تحقیق عددی به منظور بررسی اثرات جریان نوسانی بر روی ویژگی های انتقال حرارت برای یک جت برخوردی آرام توسط پوه و همکاران [۱۱] انجام گرفته است. در این کار به منظور حل معادلات ناویر- استوکس ناپایا و معادله انرژی در جریان آرام دو بعدی، از نرم افزار FLUENT 6.0 استفاده شده است. این مطالعه نشان می دهد که در ترکیبی از پارامتر های مختلف بررسی شده $100<Re<1000,\ 1<f<20$ $4<H/d<9$، بهترین عملکرد انتقال حرارت در $Re=300,\ f=5,\ H/d=9$ مشاهده شده است. در یک نوسان، در طول حالتی با کمینه سرعت گردابه های بزرگ به دو گردابه کوچکتر تقسیم می شوند، در حالی که جریان شتاب پیدا کند و به بیشینه سرعت برسد دو گردابه دوباره با هم ترکیب شده و با کند شدن جریان به حالت مینیمم سرعت بر می گردند.

یک مطالعه عددی از جریان پایا و ناپایا و بررسی ویژگی های انتقال حرارت یک جت شکافی محدود شده برخوردی روی صفحه هم دما توسط چیرایک و ارتقا [۱۲] انجام شده است. آنها برای حل معادلات ممنتوم و انرژی در جریان های دو یا سه بعدی از روش تفاضل محدود استفاده کردند و محاسبات عددی را با

استفاده از کد FAHTSO به عنوان یک حلگر توسعه یافته از CFD/CHT انجام گرفته است. شبیه سازی عددی برای اعداد رینولدز Re=250, 500 برای حالت پایا و عدد رینولدز Re=750 برای حالت ناپایا انجام شده است. نتایج آنها نشان می دهد که برای همه موارد مقادیر فشار، اصطکاک و ضرایب انتقال حرارت دیواره در مجاورت نقطه سکون به بیشینه مقدار خود می رسد. در Re=250 جدایش لایه مرزی توسعه یافته روی دیواره مورد نظر مشاهده شده است اما در Re=500 جدایشی ظاهر نشده است. همچنین عدد نوسلت متوسط زمانی برای Re=750 رفتاری را که نشان دهنده یک تغییر در رژیم جریان می باشد را نشان داده است.

۱-۲. نانو سیالات

مباحث مربوط به نانو سیالات کاربردهای متعددی از جمله آزمایشگاه روی تراشه، صنایع تصفیه، مسائل انتقال حرارت، صنایع کاغذ سازی، روانکاری، پوشش سطح، علم مواد، علوم زیستی و غیره دارند. مفهوم نانوسیال، سوسپانسیون[1] حاوی ذرات نانو، مواد فلزی و غیرفلزی را شامل می شود که به عنوان محیط های انتقال حرارت و جرم استفاده می شوند. چنین سیالاتی پتانسیل زیادی برای افزایش نرخ انتقال حرارت از خود نشان می دهند. نانو سیال، سیالی است که از توزیع ذرات با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر در یک سیال پایه به وجود می آید. عموما در تهیه نانو سیال ها از نانو ذرات فلزی یا اکسید آلومینا، اکسید مس، اکسید تیتانیوم استفاده می شود.

تولید نانو سیال ها اولین موضوع در مطالعات آزمایشگاهی نانو سیال ها می باشد. نانو سیال ها باید دارای پایداری سوسپانسیونی باشند. از دیگر شرایطی که این سوسپانسیون ها باید داشته باشند عدم تراکم و انباشتگی ذرات در یک مدل و همچنین عدم تغییر خواص سیال پایه می باشد.

دو تکنیک اساسی برای تولید نانو سیال ها وجود دارد :

- روش یک مرحله ای
- روش دو مرحله ای

به طور مختصر در مورد این دو روش می توان چنین بیان نمود: در روش یک مرحله ای تبخیر مستقیم فلز انجام می شود. ایده کلی این روش تولید نانو ذرات است ولی در این روش، جدا کردن ذرات نانو از سیال برای تولید ذرات نانوی خشک مشکل است. یکی از مزایای روش یک مرحله ای این است که تراکم و پخش ذرات نانو در یک منطقه به کمترین مقدار خود می رسد و از معایب آن می توان اشاره نمود که تنها سیال ها با فشار بخار پایین با این فرایند سازگار می باشند.

[1] Suspension