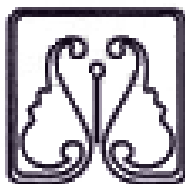


به نام خدا



دانشگاه گیلان - دانشکده فنی  
گروه مکانیک (گرایش تبدیل انرژی)

دفاعیه پایان نامه کارشناسی ارشد

مطالعه عددی جریان سیال غیر نیوتنی مدل پاورلا با جابجایی ترکیبی بین  
دو صفحه قائم متخلخل موازی

ارایه دهنده :

علی رضا درویش بهمیری

اساتید راهنما:

دکتر کورش جواهرده

دکتر محمد نقاش زادگان

یکشنبه ۱۴/۶/۸۹ - ساعت ۱۲:۳۰

آمفی تاتر شهید نورانی

با تشکر فراوان از اساتید ارجمند و گرامی جناب دکتر کوروش جواهرده و دکتر محمد نقاش زادگان، به دلیل صبر و حوصله فراوان و زحمات بی دریغشان که در به اتمام رساندن این پایان نامه مرا صمیمانه یاری نمودند.

مطالعه عددی جریان سیال غیر نیوتنی مدل پاورلا با جابجایی ترکیبی بین دو صفحه قائم متخلخل موازی

علی رضا درویش بهمبری

مطالعه انتقال حرارت جابجایی ترکیبی در حال توسعه سیال غیر نیوتنی مدل پاورلا از میان یک کانال تشکیل یافته از دو صفحه قائم عمودی در حضور میدان مغناطیسی با شرایط مرزی دما ثابت یا شار حرارتی ثابت، امروزه توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این علاقه ناشی از کاربردهای مهندسی بسیار زیادی است که به این مساله مربوط می‌شوند. ممکن است با اینگونه جریان‌ها در پروسه‌های مهندسی بسیاری همچون مبدل‌های حرارتی، تجهیزات مورد استفاده در فرآیندهای شیمیایی و خنک کاری راکتورهای هسته‌ای روبرو شویم.

در پروژه حاضر، جابجایی ترکیبی و آرام در حال توسعه یک سیال غیر نیوتنی مدل پاورلا بین دو صفحه موازی عمودی که در آن دیواره‌های کانال دارای دهش یا مکش ثابت و یکنواخت می‌باشند، در حضور یک میدان مغناطیسی یکنواخت مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحلیل معادلات پیوستگی، مومنتم و انرژی با روش حجم محدود و با بکارگیری الگوریتم سیمپل در حالت شبه گذرا، برای رسیدن به جواب حالت پایدار حل شده‌اند. همچنین شرط مرزی دما ثابت با دمای برابر بر روی دیواره‌های کانال اعمال می‌گردد. با انجام یک حل عددی بر روی معادلات حاکم تأثیرات عدد گراشف، عدد رینولدز، میدان مغناطیسی، شاخص رفتار جریان، عدد برینکمن، عدد پرانتل، دهش یا دمش و همچنین اتلاف ناشی از لزجت بر روی پارامترهای جریان در حالت بی‌بعد، مانند سرعت، گرادیان فشار، دما، دمای متوسط، نوسلت محلی و نوسلت متوسط مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و در انتها نتایج به صورت نمودارهایی ارائه شده‌اند.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ژ	چکیده فارسی
س	چکیده انگلیسی
۱	<b>فصل اول-مقدمه</b>
۲	۱-۱-مقدمه
۴	۲-۱- توضیح مختصر مساله، فرضیات و هدف از اجرا
۵	۱-۲-۱- اهداف تحقیق
۵	۲-۲-۱- روش پژوهش و مراحل انجام پایان نامه
۶	۳-۱- مروری بر کارهای انجام شده
۱۰	<b>فصل دوم- کلیات</b>
۱۱	۱-۲- بررسی جریان مگنتوهیدرودینامیک
۱۱	۱-۱-۲- تاریخچه و ماهیت مگنتوهیدرودینامیک
۱۵	۲-۱-۲- انتقال حرارت در سیستم‌های مگنتوهیدرودینامیک
۱۶	۲-۲- معرفی سیالات غیرنیوتنی و روابط رئولوژیکی حاکم بر آنها
۱۶	۱-۲-۲- سیال نیوتنی
۱۸	۲-۲-۲- سیالات غیرنیوتنی
۱۸	۱-۲-۲-۲- تقسیم بندی سیالات غیرنیوتنی
۲۸	۳-۲- انتقال حرارت سیالات غیرنیوتنی
۲۹	۱-۳-۲- انتقال حرارت به روش جابجایی
۳۱	۴-۲- اعداد بدون بعد مهم
۳۱	۱-۴-۲- عدد گرافش
۳۱	۲-۴-۲- عدد پراتل

۳۱	..... عدد پرانتل ۲-۴-۲
۳۲	..... عدد برینکمن ۳-۴-۲
۳۲	..... عدد رینولدز ۴-۴-۲
۳۳	..... فصل سوم -فرمول بندی ریاضی مساله
۳۴	..... ۱-۳- تشریح مساله
۳۴	..... ۲-۳- فیزیک مساله
۳۵	..... ۳-۳- شبکه اعمال شده
۳۶	..... ۴-۳- معادلات حاکم
۳۶	..... ۱-۴-۳- محاسبه نیروی مغناطیسی
۳۸	..... ۲-۴-۳- شبیه سازی سیال غیر نیوتنی با نیوتنی
۳۹	..... ۵-۳- حل معادلات حاکم
۳۹	..... ۱-۵-۳- منفصل سازی معادلات حاکم بر جریان و الگوریتم حل
۴۳	..... ۲-۵-۳- شکل نهایی معادله انفصال
۴۵	..... ۳-۵-۳- معادلات مقدار حرکت
۴۷	..... ۴-۵-۳- تصحیح فشار و سرعت
۴۹	..... ۵-۵-۳- معادله تصحیح فشار و الگوریتم سیمپل
۵۲	..... ۶-۳- حل معادله جبری انفصال
۵۳	..... ۷-۳- موارد مهم در اجرای برنامه
۵۳	..... ۱-۷-۳- شرایط اولیه
۵۳	..... ۲-۷-۳- شرایط مرزی سرعت و حرارت
۵۴	..... ۳-۷-۳- شرایط مرزی برای معادله تصحیح فشار

۵۵	..... ۴-۷-۳- مقادیر ورودی به برنامه
۵۵	..... ۵-۷-۳- مقدار حد همگرایی
۵۵	..... ۸-۳- محاسبه عدد نوسلت
۵۷	..... فصل چهارم- نتایج
۵۸	..... ۱-۴- مقدمه
۵۸	..... ۲-۴- شبکه بندی مساله و بررسی استقلال از شبکه
۶۱	..... ۳-۴- مقایسه نتایج به دست آمده با کارهای انجام شده
۶۵	..... ۴-۴- بررسی هیدرودینامیکی مساله
۶۵	..... ۴-۴-۱- بررسی تاثیر عدد گرافش (Gr)
۷۲	..... ۴-۴-۲- بررسی تاثیر عدد رینولدز (Re)
۷۴	..... ۴-۴-۳- بررسی تاثیر عدد هارتمن (Ha)
۷۸	..... ۴-۴-۴- بررسی تاثیر شاخص جریان (n)
۸۰	..... ۴-۴-۵- بررسی تاثیر عدد برینکمن (Br)
۸۰	..... ۴-۴-۶- بررسی تاثیر عدد پرانتل (Pr)
۸۳	..... ۴-۴-۷- بررسی تاثیر اتلاف ویسکوز
۸۴	..... ۴-۴-۸- بررسی تاثیر دهش یا مکش
۸۸	..... ۴-۵-۱- بررسی گرمایی مساله
۸۸	..... ۴-۵-۱-۱- بررسی تاثیر عدد گرافش (Gr)
۹۲	..... ۴-۵-۲- بررسی تاثیر عدد رینولدز (Re)
۹۴	..... ۴-۵-۳- بررسی تاثیر عدد هارتمن (Ha)
۹۸	..... ۴-۵-۴- بررسی تاثیر شاخص جریان (n)
۱۰۰	..... ۴-۵-۵- بررسی تاثیر عدد برینکمن (Br)
۱۰۳	..... ۴-۵-۶- بررسی تاثیر عدد پرانتل (Pr)

۱۰۵ ..... ۷-۵-۴- بررسی تاثیر اتلاف ویسکوز.....

۱۰۷ ..... ۸-۵-۴- بررسی تاثیر دهش یا مکش.....

۱۱۱ ..... ۶-۴- نتیجه گیری.....

۱۱۲ ..... ۷-۴- پیشنهادات.....

مراجع

## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: افتادن یک ورق از فلز هادی در شکاف یک مغناطیس	۱۲
شکل ۲-۲: حالت ساده از پمپ الکترومغناطیس	۱۳
شکل ۳-۲: حرکت برشی آرام بین دو صفحه موازی برای سیال نیوتنی در حالت پایدار	۱۷
شکل ۴-۲: منحنی جریان سیال نیوتنی	۱۷
شکل ۵-۲: منحنی جریان سیالات مستقل از زمان	۱۹
شکل ۶-۲: تغییرات ویسکوزیته- شدت برش سیالات غیر نیوتنی فاقد تنش تسلیم	۲۲
شکل ۷-۲: منحنی لگاریتمی جریان سیال شبه پلاستیک	۲۳
شکل ۸-۲: منحنی ویسکوزیته ظاهری بر حسب شدت برش برای سیال غیرنیوتنی پاورلا	۲۴
شکل ۹-۲: نمودار تغییرات ویسکوزیته نسبت به زمان سیال وابسته به زمان	۲۵
شکل ۱۰-۲: منحنی‌های جریان سیالات غیرنیوتنی تابع زمان در آزمایشات منفرد پایدار	۲۶
شکل ۱۱-۲: منحنی آسودگی از تنش پس از قطع برش یکنواخت	۲۷
شکل ۱۲-۲: منحنی بازیابی کرنش ( بازگشت الاستیک ) پس از قطع یک تنش	۲۸
شکل ۱-۳: جریان سیال بین دو صفحه قائم موازی متخلخل تحت میدان مغناطیسی	۳۴
شکل ۲-۳: نمایش شماتیک توزیع سلول‌های شبکه	۳۵
شکل ۳-۳: نمایش حجم کنترل برای حالت دو بعدی	۴۲
شکل ۴-۳: نمایش حجم کنترل برای U	۴۶
شکل ۵-۳: نمایش حجم کنترل برای V	۴۷
شکل ۶-۳: نمایش حجم کنترل برای معادله پیوستگی	۴۸
شکل ۷-۳: فلوچارت الگوریتم سیمپل	۴۹
شکل ۸-۳: نمایش کاربرد الگوریتم توماس در حالت خط به خط	۵۳



- شکل ۴-۱: شبکه بندی‌های مختلف ( $Re = 30, Gr = 30$ ) ..... ۵۹
- شکل ۴-۲: شبکه بندی‌های مختلف ( $Re = 30, Gr = 1000$ ) ..... ۶۰
- شکل ۴-۳: مقایسه پروفیل سرعت با مرجع [۲۲] ..... ۶۱
- شکل ۴-۴: مقایسه پروفیل سرعت با مرجع [۲۲] ..... ۶۲
- شکل ۴-۵: مقایسه پروفیل سرعت با مرجع [۲۸] ..... ۶۲
- شکل ۴-۶: مقایسه پروفیل سرعت با مرجع [۳۵] ..... ۶۳
- شکل ۴-۷: مقایسه پروفیل سرعت با مرجع [۳۲] ..... ۶۴
- شکل ۴-۸: مقایسه عدد نوسلت محلی ..... ۶۴
- شکل ۴-۹: تاثیر تغییر  $Gr$  ( $n=1, Pr=30, Re=30, Ha=3, Br=1$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه ورودی (ب) سرعت در ناحیه خروجی (ج) گرادیان فشار ..... ۶۶
- شکل ۴-۱۰: تاثیر تغییر  $Gr$  ( $n=1, Pr=100, Re=30, Ha=3, Br=1$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه ورودی (ب) سرعت در ناحیه خروجی (ج) گرادیان فشار ..... ۶۷
- شکل ۴-۱۱: تاثیر تغییر  $Gr$  ( $n=.75, Pr=30, Re=30, Ha=3, Br=1$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه ورودی (ب) سرعت در ناحیه خروجی (ج) گرادیان فشار ..... ۶۸
- شکل ۴-۱۲: تاثیر تغییر  $Gr$  ( $n=.75, Pr=100, Re=30, Ha=3, Br=1$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه ورودی (ب) سرعت در ناحیه خروجی (ج) گرادیان فشار ..... ۶۹
- شکل ۴-۱۳: تاثیر تغییر  $Gr$  ( $n=1.5, Pr=30, Re=30, Ha=3, Br=1$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه ورودی (ب) سرعت در ناحیه خروجی (ج) گرادیان فشار ..... ۷۰
- شکل ۴-۱۴: تاثیر تغییر  $Gr$  ( $n=1.5, Pr=100, Re=30, Ha=3, Br=1$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه ورودی (ب) سرعت در ناحیه خروجی (ج) گرادیان فشار ..... ۷۱
- شکل ۴-۱۵: تاثیر تغییر  $Re$  ( $n=1, Pr=100, Gr=900, Ha=3, Br=.2$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه ورودی (ب) سرعت در ناحیه خروجی (ج) گرادیان فشار ..... ۷۳
- شکل ۴-۱۶: تاثیر تغییر  $Ha$  ( $n=1, Re=30, Pr=100, Gr=900, Br=0$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار ..... ۷۵
- شکل ۴-۱۷: تاثیر تغییر  $Ha$  ( $n=1, Re=30, Pr=100, Gr=900, Br=.5$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار ..... ۷۵

۷۶	شکل ۴-۱۸: تاثیر تغییر $Ha$ ( $n=1, Re=30, Pr=100, Gr=900, Br=1$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار
۷۶	شکل ۴-۱۹: تاثیر تغییر $Ha$ ( $n=.75, Re=30, Pr=100, Gr=30, Br=.5$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار
۷۷	شکل ۴-۲۰: تاثیر تغییر $Ha$ ( $n=1.5, Re=30, Pr=100, Gr=30, Br=.5$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار
۷۷	شکل ۴-۲۱: تاثیر تغییر $Ha$ ( $n=1.5, Re=30, Pr=100, Gr=900, Br=.5$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار
۷۹	شکل ۴-۲۲: تاثیر تغییر $n$ ( $Re=30, Pr=100, Gr=30, Ha=3, Br=.5$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار
۷۹	شکل ۴-۲۳: تاثیر تغییر $n$ ( $Re=30, Pr=100, Gr=900, Ha=3, Br=.5$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار
۸۱	شکل ۴-۲۴: تاثیر تغییر $Br$ ( $Re=30, Pr=100, Gr=900, n=.75, Ha=3$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار
۸۱	شکل ۴-۲۵: تاثیر تغییر $Br$ ( $Re=30, Pr=100, Gr=900, n=1, Ha=3$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار
۸۲	شکل ۴-۲۶: تاثیر تغییر $Br$ ( $Re=30, Pr=100, Gr=30, n=1.5, Ha=3$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار
۸۲	شکل ۴-۲۷: تاثیر تغییر $Pr$ ( $Re=50, n=1, Gr=900, Ha=3, Br=.2$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار
۸۳	شکل ۴-۲۸: تاثیر اتلاف ویسکوز ( $Re=30, Pr=100, Gr=30, n=1, Ha=3$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه خروجی (ب) گرادیان فشار
۸۵	شکل ۴-۲۹: تاثیر دهش یا مکش ( $n=.75, Pr=100, Re=30, Gr=900, Ha=3, Br=0$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه ورودی (ب) سرعت در ناحیه خروجی (ج) گرادیان فشار
۸۶	شکل ۴-۳۰: تاثیر دهش یا مکش ( $n=1, Pr=100, Re=30, Gr=30, Ha=3, Br=0$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه ورودی (ب) سرعت در ناحیه خروجی (ج) گرادیان فشار
۸۷	شکل ۴-۳۱: تاثیر دهش یا مکش ( $n=1.5, Pr=100, Re=30, Gr=30, Ha=3, Br=0$ ) بر (الف) سرعت در ناحیه ورودی (ب) سرعت در ناحیه خروجی (ج) گرادیان فشار
۸۹	شکل ۴-۳۲: تاثیر تغییر $Gr$ ( $n=1, Pr=100, Re=30, Ha=3, Br=1$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت متوسط (د) نوسلت محلی
	شکل ۴-۳۳: تاثیر تغییر $Gr$ ( $n=.75, Pr=30, Re=30, Ha=3, Br=1$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت متوسط

- متوسط (د) نوسلت محلی ..... ۹۰
- شکل ۴-۳۴: تاثیر تغییر  $Gr$  ( $n=1.5, Pr=100, Re=30, Ha=3, Br=1$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت متوسط
- (د) نوسلت محلی ..... ۹۱
- شکل ۴-۳۵: تاثیر تغییر  $Re$  ( $n=1, Pr=100, Gr=900, Ha=3, Br=.2$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت متوسط
- (د) نوسلت محلی ..... ۹۳
- شکل ۴-۳۶: تاثیر تغییر  $Ha$  ( $n=1, Re=30, Pr=100, Gr=900, Br=.5$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت متوسط
- (د) نوسلت محلی ..... ۹۵
- شکل ۴-۳۷: تاثیر تغییر  $Ha$  ( $n=.75, Re=30, Pr=100, Gr=30, Br=.5$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت متوسط
- (د) نوسلت محلی ..... ۹۶
- شکل ۴-۳۸: تاثیر تغییر  $Ha$  ( $n=1.5, Re=30, Pr=100, Gr=900, Br=1$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت متوسط
- (د) نوسلت محلی ..... ۹۷
- شکل ۴-۳۹: تاثیر تغییر  $n$  ( $Re=30, Pr=100, Gr=30, Ha=3, Br=.5$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت متوسط
- (د) نوسلت محلی ..... ۹۹
- شکل ۴-۴۰: تاثیر تغییر  $Br$  ( $Re=30, n=.75, Pr=100, Gr=900, Ha=3$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت متوسط
- (د) نوسلت محلی ..... ۹۹
- شکل ۴-۴۱: تاثیر تغییر  $Br$  ( $Re=30, n=1, Pr=100, Gr=900, Ha=3$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت متوسط
- (د) نوسلت محلی ..... ۱۰۲
- شکل ۴-۴۲: تاثیر تغییر  $Pr$  ( $Re=50, n=1, Gr=900, Ha=3, Br=.2$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت متوسط
- (د) نوسلت محلی ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۴۳: تاثیر اتلاف ویسکوز ( $Re=30, Pr=100, n=1, Gr=30, Ha=3$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین (ج) نوسلت
- محلی بر اساس معادله ۳-۱۰۶ (د) نوسلت محلی بر اساس معادله ۳-۱۰۷ ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۴۴: تاثیر دهش یا مکش ( $Re=30, Pr=100, n=.75, Gr=900, Ha=3, Br=0$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین
- (ج) نوسلت محلی بر اساس معادله ۳-۱۰۶ (د) نوسلت محلی بر اساس معادله ۳-۱۰۷ ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۴۵: تاثیر دهش یا مکش ( $Re=30, Pr=100, n=1, Gr=30, Ha=3, Br=0$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین
- (ج) نوسلت محلی بر اساس معادله ۳-۱۰۶ (د) نوسلت محلی بر اساس معادله ۳-۱۰۷ ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۴۶: تاثیر دهش یا مکش ( $Re=30, Pr=100, n=1.5, Gr=30, Ha=3, Br=0$ ) بر (الف) پروفیل دما (ب) دمای میانگین
- (ج) نوسلت محلی بر اساس معادله ۳-۱۰۶ (د) نوسلت محلی بر اساس معادله ۳-۱۰۷ ..... ۱۱۰

سرعت جریان آزاد	$U_0$
سرعت ستاره دار	$U^*$
تصحیح سرعت	$U^c$
سرعت بی بعد سیال در راستای (X-Y)	$U, V$
سرعت ستاره دار	$V^*$
تصحیح سرعت	$V^c$
مختصات کارتیزین	$x, y$
مختصات کارتیزین در حالت بی بعد	$X, Y$

### علائم یونانی

ضریب نفوذ حرارتی	$\alpha$
زیر تخفیف برای سرعت $U$	$\alpha_u$
زیر تخفیف برای سرعت $V$	$\alpha_v$
زیر تخفیف برای فشار	$\alpha_p$
ضریب هدایت الکتریکی	$\sigma$
ضریب انبساط حرارتی	$\beta_T$
ویسکوزیته دینامیکی سیال	$\mu$
ویسکوزیته دینامیکی سیال در حالت بی بعد	$\bar{\mu}$
ویسکوزیته دینامیکی سیال در مرجع	$\mu_o$
ویسکوزیته سینماتیکی سیال	$\nu$
ویسکوزیته سینماتیکی سیال در مرجع	$\nu_o$
چگالی سیال	$\rho$
دما در حالت بی بعد	$\theta$
دمای میانگین در حالت بی بعد	$\theta_m$
دمای دیواره در حالت بی بعد	$\theta_w$
اتلاف ویسکوزیته	$\Phi'$
اتلاف ژول	$\Phi''$
متغیر کلی	$\Phi$
ضریب پخش	$\Gamma$
نرخ برش	$\dot{\gamma}$
	<b>زیر نویس</b>
سطح دیواره	$W$
شرایط اولیه	$o$

فصل اول :

مقدمه

## ۱-۱- مقدمه

معادلات حرکت سیالات لزج (معادلات ناویر-استوکس) توانست تا حدود زیادی جدایی بین دو دیدگاه نظری و تجربی در علم مکانیک سیالات را برطرف کند. لیکن معادلات ناویر-استوکس با وجود پایداری و سخت گیرانه بودن، غیر خطی، پیچیده، غیر یکتا و مشکل هستند و حل آنها به سادگی امکان پذیر نمی‌باشد.

در بیشتر موارد، حل تحلیلی و دقیق معادلات مکانیک سیالات بسیار محدود است. با اعمال شرایط مرزی، این محدودیت‌ها بیشتر می‌شود. مکانیک سیالات تجربی می‌تواند اطلاعات مورد نیاز یک میدان جریان خاص را فراهم کند. در هر حال به علت محدودیت‌های تجهیزاتی، کسب اطلاعات آزمایشگاهی در بیشتر میدان‌های جریان غیر عملی است. با این وجود از نتایج آزمایشگاهی برای اثبات درستی حل معادلات ریاضی استفاده می‌شود. پس در طراحی، نتایج آزمایشگاهی و نتایج محاسباتی معادلات در کنار یکدیگر به کار می‌روند.

روشی که در سالهای اخیر شهرت زیادی یافته، روش دینامیک سیالات عددی یا محاسباتی می‌باشد. البته تحلیل عددی برای سالیان دراز مطرح بوده است ولی با پیشرفت‌های به دست آمده در امر ساخت کامپیوترها که سبب افزایش حافظه و کارایی آنها گردیده، امکان حل معادلات مکانیک سیالات با استفاده از روش‌های عددی مختلف به وجود آمده است. در این روش بر خلاف مکانیک سیالات تجربی، شرایط جریان، ابعاد و اندازه‌های آن به راحتی قابل تغییرند تا اهداف طراحی مختلفی را بتوان برآورده نمود. به بیان دیگر امروزه شبیه سازی عددی بطور فزاینده‌ای به یکی از شیوه‌های مهم در حل مسایل پیچیده در شاخه‌های مختلف مهندسی و علوم تبدیل شده است. این فرآیند مسائل فیزیکی را به فرم گسسته‌ای از عبارات‌های ریاضی تبدیل کرده و با تولید دوباره آنها در کامپیوتر به حل مساله با استفاده از قوانین بنیادی مورد نیاز برای تحلیل می‌پردازد. نسبت به روش‌های سنتی که با فرض‌ها و تقریب‌های زیاد به ساده سازی برای حل مسایل می‌پرداختند، دیدگاه‌های عددی مدرن با استفاده از توان محاسباتی رو به رشد کامپیوترها، مبادرت به شبیه سازی و حل اصل مسایل بدون در نظر گرفتن این فرض‌های ساده ساز می‌پردازند. علاوه بر این، شبیه سازی عددی یک ابزار سریع تر برای بررسی‌های علمی به جای آزمایش‌های پرهزینه، وقت گیر و حتی خطرناک در آزمایشگاه‌ها و سایت‌ها را فراهم می‌کند. حتی در برخی موارد نسبت به آزمایش‌های سنتی که در آنها اندازه‌گیری با دقت بالا دشوار است، پاسخ‌های دقیقتری ارائه می‌نماید [۱ و ۲].

اغلب سیالات صنعتی همچون انواع سوسپانسیون‌ها، آمولسیون‌ها، مذاب‌ها و محلول‌های پلیمری چسب‌های مایع، رنگ‌ها، مواد غذایی (مایع و نیمه جامد)، مواد آرایشی و بهداشتی، مواد دارویی، سیالات فیزیولوژیک و امثال آنها به طرز چشمگیری دارای رفتار غیر نیوتنی می‌باشند. در مورد این دسته از سیالات، به علت پیچیدگی ذاتی معادلات اساسی آنها، دستیابی به حل دقیق

حتی در هندسه‌های ساده‌ای همچون جریان پوآزی و جریان کوئت به ندرت امکان‌پذیر است که این امر در مورد جریان‌های پیچیده‌تری همچون جریان در مجاورت نقاط سکون و یا جریان در بالای دیسک‌های دوار از مصداق بیشتری برخوردار است. از اینرو در مورد سیالات غیر نیوتنی (به ویژه در مورد انواع الاستیک آنها) تقریباً در تمامی موارد مجبور به استفاده از روش‌های عددی برای محاسبه میدان سرعت و میدان تنش در چنین جریان‌هایی می‌باشیم. با این وصف در تحلیل عددی این دسته از سیالات مشکل عمده‌ای که وجود دارد تصمیم‌گیری درست در مورد معادله رفتار آنها است. واقعیت این است که برخلاف سیالات نیوتنی، در مورد سیالات غیرنیوتنی متاسفانه با طیف وسیعی از معادلات سیال غیر نیوتنی مواجه می‌باشیم که هر یک از آنها برای دسته خاصی از سیالات غیر نیوتنی مناسب هستند. در حال حاضر، روش مرسوم برای انتخاب مناسب‌ترین معادله اساسی برای یک سیال غیرنیوتنی بدین صورت است که پیش‌بینی این دسته از معادلات (که از آنها تحت عنوان مدل‌های ریولوژیک نیز یاد می‌شود) در مورد برخی از خواص رئولوژیکی سیال همچون ویسکوزیته، تنش نرمال و یا زمان آسودگی با مقادیر اندازه‌گیری شده این دسته از خواص (که با استفاده از دستگاه‌های ویسکومتر و رئومتر بدست می‌آیند) مقایسه می‌شود تا بدینوسیله معادله اساسی مربوط به سیال مورد نظر مشخص شود. متاسفانه از معادله اساسی‌ای که بدین ترتیب انتخاب می‌گردد انتظار می‌رود که بتواند رفتار سیال را در جریان‌های پیچیده چند بعدی و چند جهتی پیش‌بینی نماید و این در حالی است که در ویسکومتری‌هایی که از آنها برای اندازه‌گیری خواص رئولوژیک استفاده شده است سیال مورد نظر در اصل دستخوش جریانی ساده از نوع یک بعدی و تک جهتی قرار می‌گیرد. از آنچه گفته شد می‌توان نتیجه گرفت که تصمیم‌گیری در مورد مناسب بودن و یا نامناسب بودن یک معادله رفتار سیال باید تا حد ممکن با مقایسه عملکرد پیش‌بینی‌های این معادله رفتار در جریان‌های پیچیده و مواجهه آنها با نتایج آزمایشگاهی صورت پذیرد.

فرآیندهای انتقال حرارت در طیف وسیعی از کاربردهای صنعتی (بیوشیمیایی، صنایع غذایی، پلیمر و ..... ) وجود دارند. مسایل مربوط به جریان آرام و انتقال حرارت با جابجایی ترکیبی (آزاد و اجباری) در یک کانال صفحه‌ای در طراحی مبدل‌های حرارتی، خنک کاری سیستم‌های الکترونیکی و غیره، اهمیت بسزایی دارد. از دیگر سو مبدل‌های حرارتی از تجهیزات اصلی انتقال حرارت می‌باشند و بهینه‌سازی در طراحی آنها از نظر افت فشار و شدت انتقال حرارت برای سیالات مختلفی که در آنها جاری هستند مورد توجه خاص علوم مهندسی می‌باشد. از جمله موضوعات مورد توجه در تکنولوژی جدید که در انتقال حرارت دارای اهمیت بسیار است، مساله انتقال حرارت در سیستم مگنتوهیدرودینامیک<sup>1</sup> (MHD) می‌باشد. مگنتوهیدرودینامیک (MHD) برهم کنش سیال و میدان مغناطیسی را توصیف می‌کند که در رابطه با آن در فصل آینده توضیحات بیشتری بیان خواهد گردید.

<sup>1</sup> Magneto hydrodynamics

مسایل مرتبط با سیال غیر نیوتنی در کانال‌های تشکیل یافته از صفحه‌های موازی و انتقال حرارت در آن با حضور میدان مغناطیسی کاربردهای زیادی در علوم مهندسی از جمله در صنایع هوا و فضا، توربوماشین‌ها، پمپ‌های مگنتوهیدرودینامیک، مهندسی شیمی و پتروشیمی، تولید کننده‌های نیروی مگنتوهیدرودینامیک، مبدل‌های حرارتی، کابل‌های دفنی زیرزمینی، شتاب دهنده‌ها، جریان سنج‌ها، علم الکترونیک، علم شیمی، راکتورهای هسته‌ای و سیستم‌های احتراق دارد [۳ و ۴ و ۵].

## ۱-۲- توضیح مختصر مسأله، فرضیات و هدف از اجرا :

برای بهبود انتقال گرما در مبدل‌های حرارتی که عموماً با سیالات غیر نیوتنی سر و کار داریم، استفاده از یک میدان موثر خارجی مانند میدان مغناطیسی می‌تواند نقش بسزایی در تحقق راندمان حرارتی بالاتر داشته باشد. در این پایان نامه انتقال حرارت جابجایی ترکیبی (آزاد و اجباری) یک سیال غیر نیوتنی مدل پاورلا در حالت دو بعدی مورد توجه قرار گرفته است. سیال مورد نظر در داخل یک کانال تشکیل یافته از دو صفحه متخلخل موازی عمودی، جاری می‌باشد که به منظور افزایش انتقال حرارت، یک میدان مغناطیسی خارجی یکنواخت به صورت عمود بر جریان فوق اعمال می‌گردد. در این مسئله معادلات پیوستگی، مومنتم و انرژی مربوطه با شرط مرزی درپشله (دما ثابت) به شکل بی بعد در آمده و آنگاه به کمک روش‌های متداول عددی حل می‌گردند.

در واقع یافتن پروفیل‌های سرعت، دما و افت فشار بی بعد و میزان تغییرات گرما متاثر از شرایط ورودی و مرزی هیدرودینامیکی و حرارتی وارده بر سیال، هدف نهایی پایان نامه می‌باشد. در نمودارهای ارائه شده در این تحقیق، تغییرات فوق بر روی پروفیل‌های سرعت، دما، عدد نوسلت و در نهایت گرادیان فشار قابل مشاهده می‌باشند. بدیهی است با شناخت هر چه بیشتر این پدیده فیزیکی، می‌توان بر روی عملکرد مبدل‌های حرارتی یا سیستم‌های انتقال سیال تاثیر دلخواه را اعمال نمود.



## ۱-۲-۱- اهداف تحقیق

به طور مشخص اهداف این پروژه عبارتند از:

- بررسی و استخراج معادله‌های اساسی حاکم بر جریان
- بررسی تغییرات عدد رینولدز ( $Re$ ) بر روی پروفیل سرعت، دما، نوسلت و گرادیان فشار
- بررسی تغییرات عدد گراشف ( $Gr$ ) بر روی پروفیل سرعت، دما، نوسلت و گرادیان فشار
- بررسی اثر مگنوهیدرودینامیک ( $Ha$ ) بر روی پروفیل سرعت، دما، نوسلت و گرادیان فشار
- بررسی تغییرات عدد پراتل ( $Pr$ ) بر روی پروفیل سرعت، دما، نوسلت و گرادیان فشار
- بررسی اثر شاخص پایداری سیال پاورلا ( $n$ ) بر روی پروفیل سرعت، دما، نوسلت و گرادیان فشار
- بررسی اثر مکش و دمش سیال بر روی پروفیل سرعت، دما، نوسلت و گرادیان فشار

## ۱-۲-۲- روش پژوهش و مراحل انجام پایان نامه :

- ۱- شناخت رفتار انواع سیالات غیر نیوتنی بویژه مدل پاورلا
- ۲- مدل سازی جریان در داخل صفحات متخلخل و موازی (در حالت دو بعدی و تحت میدان الکترو مغناطیسی)
- ۳- اتخاذ فرضیات و شرایط ورودی، خروجی و مرزی مناسب با فیزیک مسئله
- ۴- حل معادلات حاکم بر فیزیک مسئله به روش‌های عددی متداول
- ۵- استخراج کلیه پارامترهای تاثیرگذار بر روی فرایند انتقال گرما
- ۶- تجزیه و تحلیل و مقایسه با نتایج دیگر محققین (در صورت وجود)

در بخش زیر برخی از کارهای انجام شده در سال‌های گذشته مورد اشاره قرار گرفته‌اند:

## ۳-۱- مروری بر کارهای انجام شده

تحلیل‌های زیادی در مورد جریان آرام داخل کانال تشکیل یافته از دو صفحه قائم موازی صورت گرفته است. این مطالعات را می‌توان به جابجایی آزاد، جابجایی اجباری و جابجایی ترکیبی با گرمایش متقارن یا نامتقارن، با صفحات دارای دما یا شار حرارتی ثابت تقسیم نمود. به طور کلی جریان‌های در حال توسعه به وسیله روش‌های عددی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای نمونه می‌توان از کارهای انجام شده توسط بودیا و استرل<sup>۲</sup> (۱۹۶۲)، آنگ و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۷۲)، میاتک و فوجی<sup>۴</sup> (۱۹۷۳-۱۹۷۴)، اکبری و برگرز<sup>۵</sup> (۱۹۷۹)، آنگ و ورکیو<sup>۶</sup> (۱۹۸۶)، هبچی و اچاریا<sup>۷</sup> (۱۹۸۶)، آنگ و ورکیو (۱۹۸۷)، اینگام و همکاران<sup>۸</sup> (۱۹۸۸)، اکاجیما و همکاران<sup>۹</sup> (۱۹۹۸) نام برد. در حالیکه جریان‌های توسعه یافته به صورت تحلیلی بررسی شده‌اند. مانند کارهای انجام گرفته توسط تاو<sup>۱۰</sup> (۱۹۶۰)، آنگ (۱۹۷۲)، آنگ و همکاران (۱۹۷۲)، آنگ و ورکیو (۱۹۸۶)، چانگ و همکاران<sup>۱۱</sup> (۱۹۹۰)، همدها و ریتز<sup>۱۲</sup> (۱۹۹۱) بارلتا<sup>۱۳</sup> (۲۰۰۲)، بولاما و گالانیس<sup>۱۴</sup> (۲۰۰۴). در این زمینه کارهای تجربی نیز توسط ریتز و همکاران (۱۹۸۲) و اسپارو و همکاران<sup>۱۵</sup> (۱۹۸۲) انجام گرفته است [۷ و ۸ و ۹].

واژه مگنتوهیدرودینامیک توسط آلفون<sup>۱۶</sup> ایجاد گردید. وی در ۱۹۴۰ مقاله‌ای منتشر نمود که دلالت بر ظهور کامل MHD دارد [۱۰ و ۱۱]. پس از او کارهای بسیاری توسط کسانی چون هارتمن<sup>۱۷</sup>، شریف<sup>۱۸</sup>، گولد<sup>۱۹</sup>، یانگ<sup>۲۰</sup>، اچوانگ<sup>۲۱</sup> و بسیاری دیگر در این زمینه انجام شد.

<sup>2</sup> R. Bodoia, J.F. Osterle

<sup>3</sup> W. Aung et al

<sup>4</sup> O. Miyatake, T. Fujii

<sup>5</sup> H. Akbari, T.R. Borgers

<sup>6</sup> W. Aung, G. Worku

<sup>7</sup> S. Habchi, S. Acharya

<sup>8</sup> D.B. Ingam et al

<sup>9</sup> A. Okajima et al

<sup>10</sup> L.N. Tao

<sup>11</sup> C.H. Chang et al

<sup>12</sup> T.T. Hamadah, R.A. Writz

<sup>13</sup> Barletta

<sup>14</sup> Boulama and Galanis

<sup>15</sup> F.M. Sparrow et al

<sup>16</sup> Alfven

<sup>17</sup> Hartman

<sup>18</sup> Shercliff

<sup>19</sup> Gold

<sup>20</sup> Yong

<sup>21</sup> Hwang

در مراجع زیر جریان داخل کانال تحت شرایط گوناگون و به وسیله روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند که بصورت مختصر بیان خواهند شد.

صلاح الدین<sup>۲۲</sup> جابجایی ترکیبی سیال نیوتنی بین دو صفحه قائم با شار حرارتی متفاوت را به طریق عددی حل نمود. در این کار به منظور بررسی اثر شناوری در جریان آرام در حال توسعه از روش اجزا محدود صریح استفاده شد [۶]. گراسن و پاپ<sup>۲۳</sup> اثر تشعشع را بر جریان جابجایی ترکیبی توسعه یافته یک سیال نیوتنی به روش عددی و تحلیلی مورد بررسی قرار دادند [۷]. لیما و همکاران<sup>۲۴</sup> جریان گذرای یک سیال نیوتنی بین دو صفحه افقی با دمای ثابت را در حالیکه صفحات متخلخل بوده و صفحه بالایی متحرک می‌باشد، به روش تحلیلی حل نمودند. در این کار آنها از فرض گرادیان فشار ثابت استفاده کردند [۸]. نیلد<sup>۲۵</sup> جابجایی آرام سیال نیوتنی بین دو صفحه افقی با دماها و شار حرارتی متفاوت را در حالیکه جریان توسعه یافته بود مورد بررسی قرار داد تا از این طریق تعاریف جدیدی برای نوسلت ارائه دهد [۹]. ورما و ماتور<sup>۲۶</sup> به روش تحلیلی جریان کویت را با حضور MHD مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق یک صفحه متحرک و صفحه دیگر همراه با دمش بود [۱۲]. شولتز و بالمر<sup>۲۷</sup> حل تحلیلی سیال غیر نیوتنی با وجود دهنش و مکش را در یک لوله همگرا یا واگرای نامتقارن مورد بررسی قرار دادند [۱۳]. کامپو و تین<sup>۲۸</sup> تاثیر پروفیل‌های مختلف سرعت ورودی را بر جریان جابجایی اجباری توسعه یافته داخل کانال همراه با مکش در دیواره را به روش تابع جریان حل نمودند [۱۴]. ردی و باته‌لال<sup>۲۹</sup> به روش عددی جریان سیال تحت تاثیر میدان مغناطیسی و مکش در یک دیواره را در داخل یک کانال که یک صفحه آن مواج می‌باشد حل نمودند [۱۵]. راجاگوپال<sup>۳۰</sup> جابجایی آزاد سیال غیر نیوتنی بین دو صفحه عمودی که دو صفحه در دو دمای مختلف قرار دارند را به صورت تحلیلی مورد بررسی قرار داد [۱۶]. چنگ و هوانگ<sup>۳۱</sup> جریان سیال در حال توسعه داخل یک کانال مستطیلی که یک دیواره دارای دهنش یا مکش بوده را به روش تابع جریان حل نمودند [۱۷]. لی و یان<sup>۳۲</sup> جابجایی ترکیبی در یک کانال افقی با دیواره‌های دارای دهنش یا مکش را به وسیله تابع جریان مورد بررسی قرار دادند [۱۸]. اسماعیل مخیمر<sup>۳۳</sup> با استفاده از نرم افزار spread sheet به بررسی ناحیه ورودی در جابجایی آزاد در حال توسعه یک سیال نیوتنی بین دو صفحه قائم در دماهای مختلف پرداخت [۱۹].

<sup>22</sup> M.M. Salah El-Din

<sup>23</sup> T. Grosan, I. Pop

<sup>24</sup> Joao A. Lima, Joao N.N. Quaresma, Emanuel N. Macedo

<sup>25</sup> D.A. Nield

<sup>26</sup> P.D. Verma, A.K. Mathur

<sup>27</sup> D.H. Schultz, R.T. Balmer

<sup>28</sup> L.C. Chow, C.L. Then, A. Campo

<sup>29</sup> N.B. Reddy, D. Bathalah

<sup>30</sup> K.R. Rajagopal, T.Y. Na

<sup>31</sup> Y.C. Cheng, G.J. Hwang, M.L. Ng

<sup>32</sup> Kuan-Tzong Lee, Wel-Mon Yan

<sup>33</sup> Esmail M.A. Mokheimer

بارلتا<sup>۳۴</sup> با روش *perturbation* جابجایی ترکیبی سیال نیوتنی را در داخل کانال مورد بررسی قرار داد. در این کار صفحات کانال در دماهای مختلف قرار داشته و جریان توسعه یافته می‌باشد. علاوه بر این در این کار از اتلافات ناشی از لزجت صرف‌نظر نشده است [۲۰]. بارلتا به روش تحلیلی جابجایی ترکیبی توسعه یافته یک سیال غیر نیوتنی بین دو صفحه با دماهای متفاوت را به منظور یافتن شرایط لازم برای ایجاد جریان برگشتی مورد بررسی قرار داد [۲۱]. بارلتا به روش تحلیلی جریان آرام سیال در داخل یک کانال را با در نظر گرفتن اتلاف لزجی و نیز نیروی شناوری مورد بررسی قرار داد [۲۲]. دگان و واسور<sup>۳۵</sup> جابجایی ترکیبی سیال داخل کانال متخلخل را مورد بررسی قرار دادند [۲۳]. سهیل محمود و همکاران<sup>۳۶</sup> جابجایی ترکیبی توسعه یافته سیال نیوتنی داخل کانال تحت تاثیر میدان مغناطیسی را به روش ترمودینامیکی (قانون دوم) مورد بررسی قرار دادند [۲۴]. نیلد و همکاران<sup>۳۷</sup> جابجایی اجباری سیال نیوتنی در داخل کانال با دمای ثابت را در حالیکه جریان از نظر حرارتی توسعه یافته بوده و نیز محیط متخلخل می‌باشد، مورد بررسی قرار داده و اثرات تخلخل بر روی نوسلت را در غالب نمودارهایی ارایه نمودند [۲۵]. اشمیت و همکاران<sup>۳۸</sup> جریان آرام سیال داخل کانال با حضور دهش و مکش را به روش تحلیلی مورد بررسی قرار دادند [۲۶]. آتیا و همکاران اثر هال را بر جریان کویت ناپایا در حضور MHD برای یک سیال غیر نیوتنی همراه با مکش یا دهش به روش عددی حل نمودند. در این کار فاصله عمودی صفحات کانال از هم به تدریج افزایش می‌یابد [۲۷]. پرمچاندرا و همکاران<sup>۳۹</sup> به روش عددی و تجربی انتقال حرارت جابجایی آزاد در یک کانال عمودی را مورد بررسی قرار دادند [۲۸]. لورنزینی و بیسارنی<sup>۴۰</sup> جابجایی ترکیبی سیال غیر نیوتنی بین دو صفحه عمودی با دو دمای یکسان که دماها به صورت خطی تغییر کرده و نیز سرعت ورودی به صورت سهموی می‌باشد به روش عددی (تابع جریان) مورد بررسی قرار دادند [۲۹]. آتیا<sup>۴۱</sup> اثر دهش یا مکش را بر یک جریان ناپایا با خواص متغیر داخل یک کانال و با در نظر گرفتن گرادیان فشار ثابت حل نمود [۳۰]. سهیل محمود و فراسر<sup>۴۲</sup> حل تحلیلی و عددی جابجایی اجباری توسعه یافته داخل یک کانال همراه با تولید انترپی را مورد بررسی قرار دادند [۳۱]. جردن<sup>۴۳</sup> انتقال حرارت گذرای جابجایی ترکیبی داخل یک کانال عمودی را با در نظر گرفتن اتلاف لزجی به صورت تحلیلی مورد بررسی قرار داد [۳۲]. پرمچاندرا و بالاجایی<sup>۴۴</sup> جابجایی ترکیبی یک سیال نیوتنی را داخل کانال همگرا یا واگرا با شار حرارتی ثابت با استفاده از روش سیمپل مورد بررسی قرار دادند [۳۳]. فتحی کامیش در این کار جابجایی اجباری

<sup>34</sup> Antinio Barletta

<sup>35</sup> G. Degan, P. Vasseur

<sup>36</sup> Shohel Mahmud, Syrda Humaira Tasnim, Mohammad Arif Hasan Mamum

<sup>37</sup> D.A. Nield, A.V. Kuznetsov, Ming Xiong

<sup>38</sup> L. Oxarango, P. Schmitz, M. Quintard

<sup>39</sup> A.K. Krishnan, B. Premachanran, C. Balaji, S.P. Venkateshan

<sup>40</sup> G, Lorenzini, C. biserni

<sup>41</sup> Hazem Ali Attia

<sup>42</sup> Shohel Mahmud, Roydon Andrew Fraser

<sup>43</sup> Joaquin Zueco Jordan

<sup>44</sup> B, Premachandran, C, Balaji