

به نام خداوند جان و خرد



دانشگاه شاهرود

دانشکده مهندسی

گروه آموزشی مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

عنوان:

تأثیرات نیروی شناوری در جریان لایه-مرزی هیدرو دینامیک مغناطیسی  
سیال ویسکوالاستیک دوبعدی

استاد راهنما:

دکتر محمد مهدی رشیدی

نگارش:

بهنام رستمی



صورت جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک گرایش تبدیل انرژی

با عنوان:

تأثیرات نیروی شناوری در جریان لایه-مرزی هیدرو دینامیک مغناطیسی سیال ویسکوالاستیک دو بعدی

جلسه دفاع از پایان نامه آقای بهنام رستمی به ارزش ۶ واحد در روز سه شنبه مورخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۴ ساعت ۱۱ در محل آمفی تئاتر دانشکده مهندسی در حضور هیأت داوران برگزار گردید که پس از بررسی های لازم، پایان نامه نامبرده با نمره نه عدد ۱۹/۸۳ به حروف زره هشتاد و سه و با درجه عالی مورد ارزیابی قرار گرفت.

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت	مرتبه علمی	امضاء
۱	دکتر محمد مهدی رشیدی	استاد راهنما	دانشیار	
۲	دکتر محسن کوردزی	داور داخلی	استاد یار	
۳	دکتر حمید الله سایه وند	داور داخلی	استاد یار	
۴	دکتر علی رضا شوشتری	* سنور تحصیلات تکمیلی دانشکده	استاد یار	

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

....., Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات خارجی

..... گروه ..... دانشکده ..... دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

مقالات داخلی

تقدیرم به

مادر مهربان و پدر عزیزم

مهربانی پیمان نشان شیرازه بند این دو تمارت

با تشکر از استاد گرامی

جناب آقای دکتر رشیدی

که با محنت و زحمات بی پایان، شکر را هم بودند

و

بارپاس فراوان از دوستان عزیزم

زویده فریدونی مهر و امیر فرزاد فروغی



دانشگاه بوعلی سینا  
مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

تأثیرات نیروی شناوری در جریان لایه-مرزی هیدرودینامیک مغناطیسی سیال ویسکوالاستیک دوبعدی

نام نویسنده: بهنام رستمی

نام استاد: محمد مهدی رشیدی

نام استاد مشاور: -

دانشکده: مهندسی گروه آموزشی: مهندسی مکانیک

رشته تحصیلی: مهندسی مکانیک گرایش تحصیلی: تبدیل انرژی مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ تصویب پروپوزال: ۱۳۹۰/۴/۱۲ تاریخ دفاع: ۱۳۹۱/۱۱/۲۴ تعداد صفحات: ۱۵۹

چکیده:

جریان لایه-مرزی روی صفحه‌ی پیوسته‌ی متحرک نوع مهمی از جریان است که در تعداد زیادی از فرایندهای مهندسی به کار می‌رود. ریخته‌گری آبرودینامیک صفحات پلاستیکی، خنک‌سازی صفحات فلزی در حمام خنک‌کن، رشد کریستالی، متالورژی، لایه-مرزی در امتداد فیلم مایع در فرایند تقطیر و صفحه‌ی پلیمری که به صورت پیوسته تحت ریخته‌گری تحت فشار قرار گرفته است، کاربردهای عملی از صفحه‌ی متحرک هستند. در این پژوهش، تأثیرات نیروی شناوری بر جریان لایه-مرزی سیال ویسکوالاستیک در حضور میدان مغناطیسی عمودی در حالت دو بعدی در شرایط و فرضیات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. تأثیرات تابش، چشمه/چاه حرارتی، دیوار و محیط متخلخل، اتلافات لزج در جریان انتقال حرارت آزاد روی صفحات گسترش یافته، وجود جریان نقطه سکون در حالت جابجایی ترکیبی، وجود اثرات سورت و دوفور در حالت انتقال جرم، جریان روی گوه، جریان حول استوانه‌ی دایروی قائم، جریان انتقال حرارت ترکیبی روی سیلندر استوانه‌ای افقی با شرایط مرزی سرعت لغزشی و پرش دمایی فرضیاتی است که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی (معادلات پیوستگی، اندازه حرکت، انرژی و انتقال جرم) در مختصات دکارتی و استوانه‌ای متناسب با نوع مسئله استخراج شده و با استفاده از حل‌های تشابهی مناسب به شکل معادلات دیفرانسیل معمولی تبدیل شده‌اند. معادلات تبدیل یافته تحت شرایط مرزی متناسب، با استفاده از روش آنالیز هموتوبی حل شده‌اند. همچنین، مقایسه‌ای بین نتایج به دست آمده در این پژوهش و حل سایر مراجع صورت پذیرفته است که نشان‌دهنده تطابق خوبی بین نتایج می‌باشد. تأثیرات پارامترهای فیزیکی مختلف بر روی منحنی‌های سرعت جریان، توزیع دما و همچنین غلظت مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این که یکی از کاربردهای این نوع مسایل در خنک‌کاری صفحات است باید بیان کرد که سیالات ویسکوالاستیک با اتلافات لزج پایین و قدرت کم میدان مغناطیسی خارجی باید برای افزایش نرخ خنک‌کاری صفحات مورد استفاده قرار بگیرند. ضمن این که برای خنک‌کاری صفحات باید پارامتر تابش کاهش و پارامتر مکش افزایش یابد. پارامتر دمای دیواره باید بیشتر از مقادیر بحرانی انتخاب شود. در ادامه، آزمایشی تحت عنوان آزمایش PIV برای بررسی جریان سیال در ناحیه‌ی کاملاً توسعه یافته درون کانالی دو بعدی ترتیب داده شده است. این آزمایش برای بررسی منحنی‌ها و کانتورهای سرعت در ناحیه‌ی کاملاً توسعه یافته انجام شده است. از کانالی شیشه‌ای با ابعاد  $1 \times 2 \times 0.5$  متر برای بررسی جریان دو بعدی استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: نیروی شناوری، سیال ویسکوالاستیک، جریان هیدرودینامیک مغناطیسی، آزمایش PIV

## فهرست مطالب:

۳	فصل اول: مقدمه
۴	۱-۱ لزجت
۴	۱-۱-۱ لزجت وابسته به نرخ برش
۵	۱-۲ سیال ویسکوالاستیک
۵	۱-۲-۱ معرفی سیال ویسکوالاستیک
۷	۲-۲-۱ برخی رفتارهای سیال ویسکوالاستیک
۷	۱-۲-۲-۱ تغییر شکل سطح آزاد یک سیال در حال چرخش
۸	۲-۲-۲-۱ جریان یک سیال ویسکوالاستیک در یک کانال باز شیب‌دار
۸	۳-۲-۲-۱ آماسیدگی جت
۹	۴-۲-۲-۱ بازگشت فنری
۱۰	۵-۲-۲-۱ سیفون بدون لوله
۱۰	۶-۲-۲-۱ جریان خروجی جت
۱۱	۱-۲-۳ منشأ رفتار ویسکوالاستیک در پلیمرها
۱۷	فصل دوم: معادلات حاکم
۱۷	۱-۲ اصول حاکم و دیدگاه‌های رایج در تعیین معادلات اساسی
۱۹	۲-۲ بسط انتگرال حافظه
۱۹	۳-۲ رابطه‌ی معادلات اساسی
۲۰	۴-۲ نحوه‌ی انتخاب معادله‌ی اساسی
۲۱	۵-۲ معادلات حاکم
۲۱	۱-۵-۲ معادلات پیوستگی و حرکت کوشی
۲۵	۲-۵-۲ معادله‌ی انرژی
۲۵	۳-۵-۲ معادله دیفرانسیل پخش همرفتی
۲۶	۶-۲ مقدمه‌ای بر لایه-مرزی و اثرات آن بر معادلات بقایی
۲۶	۱-۶-۲ مطالعه‌ی میدان جریان
۲۶	۲-۶-۲ مقدمه‌ای بر لایه-مرزی
۲۶	۳-۶-۲ مفهوم لایه-مرزی



۲۸	..... لایه-مرزی حرارتی
۲۹	..... محدودیت لایه-مرزی
۳۰	..... چگونگی اعمال تئوری لایه-مرزی به سیال ویسکوالاستیک
<b>۳۳</b>	<b>..... فصل سوم: مروری بر تحقیقات</b>
۳۳	..... ۱-۳ مروری بر مقالات مرتبط
<b>۴۱</b>	<b>..... فصل چهارم: نیروی شناوری در جریان لایه-مرزی سیال ویسکوالاستیک</b>
۴۱	..... ۱-۴ تأثیر نیروی شناوری و تابش در جریان لایه-مرزی MHD سیال ویسکوالاستیک بر روی صفحه‌ی گسترده در محیط متخلخل در حالات PHF و PST
۴۲	..... ۱-۱-۴ شرح مسئله و معادلات حاکم
۴۶	..... ۲-۱-۴ روش آنالیز هموتوپی
۵۰	..... ۳-۱-۴ نتایج و بحث
۵۹	..... ۲-۴ تأثیر نیروی شناوری در جریان لایه-مرزی MHD سیال ویسکوالاستیک روی صفحه‌ی گسترده در حالات PHF و PST با در نظر گرفتن تولید/جذب حرارت
۵۹	..... ۱-۲-۴ شرح مسئله و معادلات حاکم
۶۰	..... ۲-۲-۴ نتایج و بحث
۶۸	..... ۳-۴ جریان لایه-مرزی MHD سیال ویسکوالاستیک روی صفحه‌ی گسترده‌ی نمایی در حالات PHF و PST
۶۸	..... ۱-۳-۴ شرح مسئله و معادلات حاکم
۶۹	..... ۲-۳-۴ بررسی اثرات اتلاف لزج
۷۰	..... ۳-۳-۴ نتایج و بحث
۷۹	..... ۴-۴ جریان نقطه سکون MHD سیال ویسکوالاستیک در حالت جابجایی ترکیبی روی صفحه‌ی گسترده ...
۷۹	..... ۱-۴-۴ شرح مسئله و معادلات حاکم
۸۱	..... ۲-۴-۴ نتایج و بحث
۸۹	..... ۵-۴ جریان انتقال حرارت و جرم MHD سیال ویسکوالاستیک روی صفحه‌ی گسترده با در نظر گرفتن اثرات سورت و دوفور
۸۹	..... ۱-۵-۴ شرح مسئله و معادلات حاکم
۹۰	..... ۲-۵-۴ اثرات سورت و دوفور
۹۱	..... ۳-۵-۴ نتایج و بحث
۹۸	..... ۶-۴ جریان سیال ویسکوالاستیک در حالت جابجایی ترکیبی روی گوه

۹۸	۱-۶-۴ شرح مسئله و معادلات حاکم
۹۹	۲-۶-۴ نتایج و بحث
۱۰۵	۷-۴ جریان انتقال حرارت ترکیبی سیال ویسکوالاستیک در امتداد سیلندر دایروی قائم
۱۰۵	۱-۷-۴ شرح مسئله و معادلات حاکم
۱۰۷	۲-۷-۴ نتایج و بحث
۱۱۰	۸-۴ جریان جابجایی ترکیبی سیال ویسکوالاستیک حول سیلندر دایروی افقی
۱۱۰	۱-۸-۴ شرح مسئله و معادلات حاکم
۱۱۴	۲-۸-۴ نتایج و بحث
۱۲۳	<b>فصل پنجم: نتایج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی</b>
۱۲۳	۵-۱ مقدمه
۱۲۴	۲-۵ تئوری آزمایش
۱۲۴	۱-۱-۲-۵ اجزاء اصلی آزمایش
۱۲۴	۲-۱-۲-۵ ذرات
۱۲۴	۳-۱-۲-۵ منبع نور
۱۲۵	۴-۱-۲-۵ دوربین
۱۲۶	۵-۱-۲-۵ نرم افزار پردازش
۱۲۶	۲-۲-۵ مزایا و معایب
۱۲۷	۳-۲-۵ روش تشخیص ذرات
۱۳۰	۳-۵ شرح انجام آزمایش
۱۳۰	۱-۳-۵ جریان توسعه یافته درون کانال قائم
۱۳۳	۴-۵ پردازش تصویر و نتایج
۱۳۳	۱-۴-۵ انتخاب IW و SW بهینه
۱۳۴	۵-۴-۲ جریان بادبی $0.3 \text{ lit/min}$
۱۳۷	۳-۴-۵ جریان بادبی $0.4 \text{ lit/min}$
۱۳۹	۴-۴-۵ جریان بادبی $0.5 \text{ lit/min}$
۱۴۲	۵-۴-۵ جریان بادبی $0.6 \text{ lit/min}$
۱۴۴	۵-۴-۶ جریان بادبی $0.7 \text{ lit/min}$
۱۴۶	۵-۵ علل خطا

**فصل ششم: نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات ..... ۱۴۹**

۱-۶ مقدمه ..... ۱۴۹

۲-۶ تأثیر پارامترهای فیزیکی مختلف بر روی مؤلفه‌های سرعت جریان ..... ۱۵۰

۳-۶ تأثیر پارامترهای فیزیکی مختلف بر منحنی توزیع دما ..... ۱۵۱

۴-۶ تأثیر پارامترهای فیزیکی مختلف بر منحنی توزیع غلظت ..... ۱۵۱

۵-۶ پیشنهادات برای ادامه‌ی کار ..... ۱۵۲

**مراجع ..... ۱۵۵**

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۴: مقایسه‌ی  $f''(0)$  به ازای  $k_1 = 0$ ،  $n = 1$ ،  $Mn = 0$  و  $\lambda = 0$  ..... ۸۷
- جدول ۲-۴: مقایسه‌ی  $f''(0)(1 + 3k_1)$  به ازای  $\lambda = 0$  و  $Mn = 0$ ،  $n = 1$ ،  $\varepsilon = 0.1$  ..... ۸۷
- جدول ۳-۴: مقایسه‌ی  $-\theta'(0)$  به ازای  $\varepsilon = 0$ ،  $\lambda = 0$ ،  $Mn = 0$ ،  $Ec = 0$  و  $n = 1$ ،  $m = 2$  ..... ۸۸
- جدول ۴-۴: مقایسه‌ی  $-\theta'(0)$  به ازای  $\varepsilon = 0$ ،  $\lambda = 0$ ،  $n = 1$  و  $m = 2$  ..... ۸۸
- جدول ۵-۴: مقادیر ضریب اصطکاک محلی  $C_f$  به ازای  $kn = 0$ ،  $Pr = 1$  و  $k_1 = 0.5$  ..... ۱۱۸
- جدول ۶-۴: مقادیر ضریب انتقال حرارت محلی  $Q_w$  به ازای  $kn = 0$ ،  $Pr = 1$  و  $k_1 = 0.5$  ..... ۱۱۹
- جدول ۷-۴: مقایسه‌ی مقادیر نقطه‌ی جدایش به ازای  $kn = 0$  و  $Pr = 1$  ..... ۱۲۰

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: جریان برشی تولید شده توسط حرکت دادن صفحه‌ای روی صفحه‌ی دیگر. ۴
- شکل ۲-۱: خواص رئولوژیکی محلول ۶/۸٪ پلی‌ایزوبوتیلن در ستان. ۷
- شکل ۳-۱: اعمال چرخش به سیال نیوتنی  $N$  - سیال ویسکوالاستیک  $V$ . ۸
- شکل ۴-۱: تورم جت یک سیال ویسکوالاستیک در نزدیکی سر نازل. ۹
- شکل ۵-۱: دور شدن موقعیت تورم با افزایش عدد رینولدز از  $a$  تا  $c$ . ۹
- شکل ۶-۱: بازگشت فنری یک سیال ویسکوالاستیک. ۹
- شکل ۷-۱: سیفون بدون لوله‌ی سیالات ویسکوالاستیک. ۱۰
- شکل ۸-۱: تصویر جت در فاصله‌ی یک متری خروجی برای سیال نیوتنی  $N$  - سیال ویسکوالاستیک  $P$ . ۱۱
- شکل ۹-۱: نمای شماتیک مولکول پلی‌اتیلن:  $a$  - خطی (پلی‌اتیلن سنگین)،  $b$  - شاخه‌دار (پلی‌اتیلن سبک). ۱۲
- شکل ۱۰-۱: تغییر آرایش مولکول پلیمری از حالت پایدار تصادفی به حالت جدید در اثر بارگذاری. ۱۲
- شکل ۱۱-۱: شبکه‌ی مولکولی دارای گره‌خوردگی مربوط به محلول‌های غلیظ و مذاب‌های پلیمری. ۱۳
- شکل ۱-۲: رابطه‌ی بین معادلات متشکله. ۲۱
- شکل ۲-۲: نمونه‌ی منحنی سرعت و دما در یک لایه-مرزی. ۲۷
- شکل ۳-۲: نمونه‌ی لایه-مرزی سرعت و غلظت بر صفحه‌ی تخت. ۲۸
- شکل ۱-۴: نمای کلی مسئله. ۴۳
- شکل ۲-۴: منحنی  $\bar{h}$  حل بیست مرحله‌ای آنالیز هموتوپیی به ازای  $Nr = 0.1$ ,  $Mn = 0.1$ ,  $k_2 = 0.1$ ,  $k_1 = 0.1$ . ۴۹
- شکل ۳-۴: تأثیر پارامتر اختیاری دوم بر منحنی  $\bar{h}$  به ازای  $Nr = 0$ ,  $Mn = 0.1$ ,  $k_2 = 0.1$ ,  $k_1 = 0.3$ . ۴۹
- شکل ۴-۴: تأثیر پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $Nr = 0$ ,  $Pr = 1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $k_2 = 0.05$ ,  $Mn = 0.15$ . ۵۱
- شکل ۵-۴: تأثیر پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $Nr = 0$ ,  $Pr = 1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $k_2 = 0.05$ ,  $Mn = 0.15$ . ۵۱
- شکل ۶-۴: تأثیر پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $Nr = 0$ ,  $Pr = 1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $k_2 = 0.05$ ,  $Mn = 0.15$ . ۵۲
- شکل ۷-۴: تأثیر پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $Nr = 0$ ,  $Pr = 1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $k_2 = 0.05$ ,  $Mn = 0.15$ . ۵۲
- شکل ۸-۴: تأثیر پارامتر محیط متخلخل به ازای  $\varepsilon = 0.1$ ,  $Nr = 0.2$ ,  $Pr = 1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $k_1 = 0.2$ ,  $Mn = 0.1$ . ۵۳
- شکل ۹-۴: تأثیر پارامتر محیط متخلخل به ازای  $\varepsilon = 0.1$ ,  $Nr = 0.2$ ,  $Pr = 1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $k_1 = 0.2$ ,  $Mn = 0.1$ . ۵۳
- شکل ۱۰-۴: تأثیر پارامتر محیط متخلخل به ازای  $Nr = 0.2$ ,  $Pr = 1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $k_1 = 0.2$ ,  $Mn = 0.1$ . ۵۳

- ۵۴ .....  $\alpha = -0.25$  و  $\varepsilon = 0.1$  بر منحنی دما در حالت PHF.
- شکل ۱۱-۴: تأثیر پارامتر تابش به ازای  $Mn = 0.1$ ,  $k_1 = -0.1$ ,  $\lambda = 0.25$ ,  $Pr = 1$ ,  $k_2 = 0.1$ ,  $\varepsilon = 0.15$  و
- ۵۵ .....  $\alpha = -0.3$  بر منحنی سرعت.
- شکل ۱۲-۴: تأثیر پارامتر تابش به ازای  $Mn = 0.1$ ,  $k_1 = -0.1$ ,  $\lambda = 0.25$ ,  $Pr = 1$ ,  $k_2 = 0.1$ ,  $\varepsilon = 0.15$  و
- ۵۵ .....  $\alpha = -0.3$  بر منحنی دما در حالت PST.
- شکل ۱۳-۴: تأثیر پارامتر تابش به ازای  $Mn = 0.1$ ,  $k_1 = -0.1$ ,  $\lambda = 0.25$ ,  $Pr = 1$ ,  $k_2 = 0.1$ ,  $\varepsilon = 0.15$  و
- ۵۶ .....  $\alpha = -0.3$  بر منحنی دما در حالت PHF.
- شکل ۱۴-۴: تأثیر پارامتر هدایت گرمایی به ازای  $Mn = 0$ ,  $k_1 = 0.1$ ,  $\lambda = 0.4$ ,  $Pr = 1$ ,  $k_2 = 0.2$ ,  $Nr = 0.1$  و
- ۵۷ .....  $\alpha = 0$  بر منحنی سرعت.
- شکل ۱۵-۴: تأثیر پارامتر هدایت گرمایی به ازای  $Mn = 0$ ,  $k_1 = 0.1$ ,  $\lambda = 0.4$ ,  $Pr = 1$ ,  $k_2 = 0.2$ ,  $Nr = 0.1$  و
- ۵۷ .....  $\alpha = 0$  بر منحنی دما در حالت PST.
- شکل ۱۶-۴: تأثیر پارامتر هدایت گرمایی به ازای  $Mn = 0$ ,  $k_1 = 0.1$ ,  $\lambda = 0.4$ ,  $Pr = 1$ ,  $k_2 = 0.2$ ,  $Nr = 0.1$  و
- ۵۸ .....  $\alpha = 0$  بر منحنی دما در حالت PHF.
- شکل ۱۷-۴: تأثیر پارامتر مکش/دمش و پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $Mn = 0.1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $Pr = 1$ .
- ۶۱ .....  $\alpha = -0.5$  و  $r = s = 2.1$  بر منحنی سرعت.
- شکل ۱۸-۴: تأثیر پارامتر مکش/دمش و پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $Mn = 0.1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $Pr = 1$ .
- ۶۲ .....  $\alpha = -0.5$  و  $r = s = 2.1$  بر منحنی دما در حالت PST.
- شکل ۱۹-۴: تأثیر پارامتر مکش/دمش و پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $Mn = 0.1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $Pr = 1$ .
- ۶۲ .....  $\alpha = -0.5$  و  $r = s = 2.1$  بر منحنی دما در حالت PHF.
- شکل ۲۰-۴: تأثیر پارامتر چشمه/چاه حرارتی به ازای  $k_1 = 0.1$ ,  $Mn = 0.1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $Pr = 1$ ,  $R = 0$ ,  $r = 2$  و
- ۶۳ .....  $s = 2$  بر منحنی سرعت.
- شکل ۲۱-۴: تأثیر پارامتر چشمه/چاه حرارتی به ازای  $k_1 = 0.1$ ,  $Mn = 0.1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $Pr = 1$ ,  $R = 0$ ,  $r = 2$  و
- ۶۴ .....  $s = 2$  بر منحنی دما در حالت PST.
- شکل ۲۲-۴: تأثیر پارامتر چشمه/چاه حرارتی به ازای  $k_1 = 0.1$ ,  $Mn = 0.1$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $Pr = 1$ ,  $R = 0$ ,  $r = 2$  و
- ۶۴ .....  $s = 2$  بر منحنی دما در حالت PHF.
- شکل ۲۳-۴: تأثیر پارامتر دمای دیواره به ازای  $k_1 = 0.1$ ,  $Mn = 0.5$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $Pr = 1$ ,  $R = 0$  و  $\alpha = -0.5$  بر
- ۶۵ .....  $\alpha = -0.5$  بر منحنی سرعت در حالت PST.
- شکل ۲۴-۴: تأثیر پارامتر دمای دیواره به ازای  $k_1 = 0.1$ ,  $Mn = 0.5$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $Pr = 1$ ,  $R = 0$  و  $\alpha = -0.5$  بر
- ۶۶ .....  $\alpha = -0.5$  بر منحنی دما در حالت PST.
- شکل ۲۵-۴: تأثیر پارامتر شار گرمای دیواره به ازای  $k_1 = 0.1$ ,  $Mn = 0.5$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $Pr = 1$ ,  $R = 0$  و
- ۶۶ .....  $\alpha = -0.5$  بر منحنی سرعت در حالت PHF.
- شکل ۲۶-۴: تأثیر پارامتر شار گرمای دیواره به ازای  $k_1 = 0.1$ ,  $Mn = 0.5$ ,  $\lambda = 0.2$ ,  $Pr = 1$ ,  $R = 0$  و
- ۶۷ .....  $\alpha = -0.5$  بر منحنی دما در حالت PHF.
- شکل ۲۷-۴: تأثیر پارامتر میدان مغناطیسی به ازای  $k_1 = 0.1$ ,  $Ec = 0.5$ ,  $\lambda = 0.1$  و  $Pr = 0.71$  بر منحنی

.....	سرعت.	۷۱
.....	شکل ۲۸-۴: تأثیر پارامتر میدان مغناطیسی به ازای $k_1 = 0.1$ ، $Ec = 0.5$ ، $\lambda = 0.1$ و $Pr = 0.71$ بر منحنی دما	۷۱
.....	در حالت PST.	۷۱
.....	شکل ۲۹-۴: تأثیر پارامتر میدان مغناطیسی به ازای $k_1 = 0.1$ ، $Ec = 0.5$ ، $\lambda = 0.1$ و $Pr = 0.71$ بر منحنی دما	۷۲
.....	در حالت PHF.	۷۲
.....	شکل ۳۰-۴: تأثیر پارامتر شناوری به ازای $k_1 = 0.1$ ، $Ec = 1.5$ ، $Mn = 0.2$ و $Pr = 0.71$ بر منحنی سرعت...۷۳	۷۳
.....	شکل ۳۱-۴: تأثیر پارامتر شناوری به ازای $k_1 = 0.1$ ، $Ec = 1.5$ ، $Mn = 0.2$ و $Pr = 0.71$ بر منحنی دما در حالت	۷۳
.....	PST.	۷۳
.....	شکل ۳۲-۴: تأثیر پارامتر شناوری به ازای $k_1 = 0.1$ ، $Ec = 1.5$ ، $Mn = 0.2$ و $Pr = 0.71$ بر منحنی دما در حالت	۷۴
.....	PHF.	۷۴
.....	شکل ۳۳-۴: تأثیر عدد اکرت به ازای $k_1 = 0.1$ ، $\lambda = 0.2$ ، $Mn = 0.2$ و $Pr = 0.71$ بر منحنی سرعت PST..	۷۴
.....	شکل ۳۴-۴: تأثیر عدد اکرت به ازای $k_1 = 0.1$ ، $\lambda = 0.2$ ، $Mn = 0.2$ و $Pr = 0.71$ بر منحنی سرعت PHF..	۷۵
.....	شکل ۳۵-۴: تأثیر عدد اکرت به ازای $k_1 = 0.1$ ، $\lambda = 0.2$ ، $Mn = 0.2$ و $Pr = 0.71$ بر منحنی دما در حالت	۷۵
.....	PST.	۷۵
.....	شکل ۳۶-۴: تأثیر عدد اکرت به ازای $k_1 = 0.1$ ، $\lambda = 0.2$ ، $Mn = 0.2$ و $Pr = 0.71$ بر منحنی دما در حالت	۷۶
.....	PHF.	۷۶
.....	شکل ۳۷-۴: تأثیر عدد پرانتل به ازای $k_1 = 0.1$ ، $\lambda = 0.15$ ، $Mn = 0.15$ و $Ec = 2$ بر منحنی سرعت. ....	۷۷
.....	شکل ۳۸-۴: تأثیر عدد پرانتل به ازای $k_1 = 0.1$ ، $\lambda = 0.15$ ، $Mn = 0.15$ و $Ec = 2$ بر منحنی دما در حالت	۷۷
.....	PST.	۷۷
.....	شکل ۳۹-۴: تأثیر عدد پرانتل به ازای $k_1 = 0.1$ ، $\lambda = 0.15$ ، $Mn = 0.15$ و $Ec = 2$ بر منحنی دما در حالت	۷۸
.....	PHF.	۷۸
.....	شکل ۴۰-۴: نمای مسئله در جریان نقطه سکون. ....	۷۹
.....	شکل ۴۱-۴: تأثیر پارامتر نسبت سرعت به ازای $k_1 = 1$ ، $Ec = 1$ ، $Pr = 0.71$ ، $Mn = 1.5$ ، $n = 0.5$ ، $m = 1$ و	۸۲
.....	بر منحنی سرعت. $\lambda = \pm 0.5$ .	۸۲
.....	شکل ۴۲-۴: تأثیر پارامتر نسبت سرعت به ازای $k_1 = 1$ ، $Ec = 1$ ، $Pr = 0.71$ ، $Mn = 1.5$ ، $n = 0.5$ ، $m = 1$ و	۸۳
.....	بر منحنی دما. $\lambda = \pm 0.5$ .	۸۳
.....	شکل ۴۳-۴: تأثیر پارامتر شناوری یا جابجایی ترکیبی به ازای $k_1 = 0.5$ ، $\varepsilon = 0.5$ ، $Ec = 1.5$ ، $Pr = 1$ ، $n = 0.5$ ،	۸۴
.....	بر منحنی سرعت. $m = 1$ و $Mn = 2$ .	۸۴
.....	شکل ۴۴-۴: تأثیر پارامتر شناوری یا جابجایی ترکیبی به ازای $k_1 = 0.5$ ، $\varepsilon = 0.5$ ، $Ec = 1.5$ ، $Pr = 1$ ، $n = 0.5$ ،	۸۴
.....	بر منحنی دما. $m = 1$ و $Mn = 2$ .	۸۴
.....	شکل ۴۵-۴: تأثیر عدد پرانتل به ازای $k_1 = 1$ ، $\varepsilon = 1$ ، $Ec = 2$ ، $Mn = 1$ ، $n = 0.5$ ، $m = 1$ و $\lambda = \pm 0.5$ بر	۸۵
.....	منحنی سرعت.	۸۵
.....	شکل ۴۶-۴: تأثیر عدد پرانتل به ازای $k_1 = 1$ ، $\varepsilon = 1$ ، $Ec = 2$ ، $Mn = 1$ ، $n = 0.5$ ، $m = 1$ و $\lambda = \pm 0.5$ بر	۸۵
.....	منحنی دما.	۸۵

- شکل ۴-۴۷: تأثیر عدد اکرت به ازای  $k_1 = 1$ ،  $\varepsilon = 0.5$ ،  $Pr = 0.71$ ،  $Mn = 1$ ،  $n = 0.5$ ،  $m = 1$  و  $\lambda = \pm 0.3$  بر منحنی سرعت. ۸۶
- شکل ۴-۴۸: تأثیر عدد اکرت به ازای  $k_1 = 1$ ،  $\varepsilon = 0.5$ ،  $Pr = 0.71$ ،  $Mn = 1$ ،  $n = 0.5$  و  $\lambda = \pm 0.3$  بر منحنی دما. ۸۶
- شکل ۴-۴۹: تأثیر پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $Mn = 0.5$ ،  $Pr = 0.71$ ،  $Du = 0.2$ ،  $Sr = 0.25$  و  $Le = 1$  بر منحنی غلظت.  $\lambda = 0.6$  ۹۲
- شکل ۴-۵۰: تأثیر پارامتر میدان مغناطیسی به ازای  $k_1 = 1$ ،  $Pr = 0.71$ ،  $Du = 0.1$ ،  $Sr = 0.5$  و  $Le = 1.5$  بر منحنی غلظت.  $\lambda = 0.4$  ۹۲
- شکل ۴-۵۱: تأثیر پارامتر شناوری به ازای  $k_1 = 1$ ،  $Pr = 0.71$ ،  $Du = 0.1$ ،  $Sr = 0.5$  و  $Le = 2$  بر منحنی غلظت. ۹۳
- شکل ۴-۵۲: تأثیر عدد پرانتل به ازای  $k_1 = 0.5$ ،  $\lambda = 0.6$ ،  $Du = 0.2$ ،  $Sr = 0.25$  و  $Le = 2$  بر منحنی غلظت. ۹۳
- شکل ۴-۵۳: تأثیر اعداد سورت و دوفور به ازای  $k_1 = 1$ ،  $Pr = 0.71$ ،  $\lambda = 0.6$  و  $Le = 1$  بر منحنی سرعت. ۹۴
- شکل ۴-۵۴: تأثیر اعداد سورت و دوفور به ازای  $k_1 = 1$ ،  $Pr = 0.71$ ،  $\lambda = 0.6$  و  $Le = 1$  بر منحنی دما. ۹۵
- شکل ۴-۵۵: تأثیر اعداد سورت و دوفور به ازای  $k_1 = 1$ ،  $Pr = 0.71$ ،  $\lambda = 0.6$  و  $Le = 1$  بر منحنی غلظت. ۹۵
- شکل ۴-۵۶: تأثیر عدد لوییس به ازای  $k_1 = 1.5$ ،  $Pr = 0.71$ ،  $\lambda = 0.4$ ،  $Du = 0.1$  و  $Sr = 0.5$  بر منحنی سرعت. ۹۶
- شکل ۴-۵۷: تأثیر عدد لوییس به ازای  $k_1 = 1.5$ ،  $Pr = 0.71$ ،  $\lambda = 0.4$ ،  $Du = 0.1$  و  $Sr = 0.5$  بر منحنی دما. ۹۷
- شکل ۴-۵۸: تأثیر عدد لوییس به ازای  $k_1 = 1.5$ ،  $Pr = 0.71$ ،  $\lambda = 0.4$ ،  $Du = 0.1$  و  $Sr = 0.5$  بر منحنی غلظت. ۹۷
- شکل ۴-۵۹: نمای کلی گوهی مورد استفاده. ۹۸
- شکل ۴-۶۰: تأثیر پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $m = 0.5$ ،  $Pr = 1$  و  $\lambda = 0.4$  بر منحنی سرعت. ۱۰۰
- شکل ۴-۶۱: تأثیر پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $m = 0.5$ ،  $Pr = 1$  و  $\lambda = 0.4$  بر منحنی دما. ۱۰۰
- شکل ۴-۶۲: تأثیر پارامتر شناوری به ازای  $m = 0.5$ ،  $Pr = 1$  و  $k_1 = 0.6$  بر منحنی سرعت. ۱۰۱
- شکل ۴-۶۳: تأثیر پارامتر شناوری به ازای  $m = 0.5$ ،  $Pr = 1$  و  $k_1 = 0.6$  بر منحنی دما. ۱۰۱
- شکل ۴-۶۴: تأثیر عدد پرانتل به ازای  $m = 0.5$ ،  $\lambda = 0.5$  و  $k_1 = 0.8$  بر منحنی سرعت. ۱۰۲
- شکل ۴-۶۵: تأثیر عدد پرانتل به ازای  $m = 0.5$ ،  $\lambda = 0.5$  و  $k_1 = 0.8$  بر منحنی دما. ۱۰۲
- شکل ۴-۶۶: تأثیر پارامتر زاویه‌ی گوه به ازای  $Pr = 1$  و  $\lambda = 0.2$  بر منحنی سرعت. ۱۰۳
- شکل ۴-۶۷: تأثیر پارامتر زاویه‌ی گوه به ازای  $Pr = 1$  و  $\lambda = 0.2$  بر منحنی دما. ۱۰۴
- شکل ۴-۶۸: نمای مسئله‌ی بررسی شده. ۱۰۵



- شکل ۴-۶۹: تأثیر پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $b = 1$ ،  $\gamma = 0.1$ ،  $Pr = 1$  و  $\lambda = 0.75$  بر منحنی سرعت... ۱۰۷
- شکل ۴-۷۰: تأثیر پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $b = 1$ ،  $\gamma = 0.1$ ،  $Pr = 1$  و  $\lambda = 0.75$  بر منحنی دما. .... ۱۰۸
- شکل ۴-۷۱: تأثیر پارامتر انحنای به ازای  $b = 1$ ،  $k_1 = 0.1$ ،  $Pr = 1$  و  $\lambda = 0.75$  بر منحنی سرعت..... ۱۰۸
- شکل ۴-۷۲: تأثیر پارامتر انحنای به ازای  $b = 1$ ،  $k_1 = 0.1$ ،  $Pr = 1$  و  $\lambda = 0.75$  بر منحنی دما..... ۱۰۹
- شکل ۴-۷۳: نمای کلی مسئله‌ی مورد نظر..... ۱۱۰
- شکل ۴-۷۴: تأثیر پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $Re = 1000$ ،  $Pr = 1$ ،  $kn = 0.02$  و  $x = 0$  بر منحنی سرعت..... ۱۱۵
- شکل ۴-۷۵: تأثیر پارامتر ویسکوالاستیک به ازای  $Re = 1000$ ،  $Pr = 1$ ،  $kn = 0.02$  و  $x = 0$  بر منحنی دما..... ۱۱۶
- شکل ۴-۷۶: تأثیر پارامتر جابجایی اجباری به ازای  $k_1 = 0.5$ ،  $kn = 0.08$ ،  $Pr = 1$ ،  $Re = 500$  و  $x = 0$  بر منحنی سرعت..... ۱۱۶
- شکل ۴-۷۷: تأثیر پارامتر جابجایی اجباری به ازای  $k_1 = 0.5$ ،  $kn = 0.08$ ،  $Pr = 1$ ،  $Re = 500$  و  $x = 0$  بر منحنی دما..... ۱۱۷
- شکل ۴-۷۸: تأثیر زاویه‌ی سیلندر به ازای  $k_1 = 0.5$ ،  $kn = 0$ ،  $Pr = 1$  و  $\lambda = 1$  بر منحنی سرعت..... ۱۱۷
- شکل ۴-۷۹: تأثیر پارامتر جابجایی اجباری به ازای  $k_1 = 0.5$ ،  $kn = 0$ ،  $Pr = 1$  و  $x = \pi / 12$  بر منحنی سرعت..... ۱۱۸
- شکل ۵-۱: لیزر مورد استفاده در آزمایش..... ۱۲۵
- شکل ۵-۲: دوربین مورد استفاده در آزمایش..... ۱۲۶
- شکل ۵-۳: موقعیت پیکسل‌ها حول پیکسل حداکثر..... ۱۲۹
- شکل ۵-۴: چینش آزمایش..... ۱۳۰
- شکل ۵-۵: کانال مورد نظر با ابعاد  $1 \times 0.2 \times 0.05$  متر..... ۱۳۱
- شکل ۵-۶: جریان سنج مورد استفاده در آزمایش..... ۱۳۱
- شکل ۵-۷: پمپ آکواریوم..... ۱۳۲
- شکل ۵-۸: نمونه‌ای از شیر مورد استفاده..... ۱۳۲
- شکل ۵-۹: تصویر شماتیک آزمایش..... ۱۳۳
- شکل ۵-۱۰: تصاویر آزمایش در حالت دبی  $0.3$  لیتر بر دقیقه..... ۱۳۵
- شکل ۵-۱۱: کانتور سرعت قائم در دبی  $0.3$  لیتر بر دقیقه..... ۱۳۶
- شکل ۵-۱۲: منحنی سرعت قائم، منحنی برآزش شده و نتایج حل تحلیلی در دبی  $0.3$  لیتر بر دقیقه..... ۱۳۶
- شکل ۵-۱۳: تصاویر آزمایش در حالت دبی  $0.4$  لیتر بر دقیقه..... ۱۳۸
- شکل ۵-۱۴: کانتور سرعت قائم در دبی  $0.4$  لیتر بر دقیقه..... ۱۳۸
- شکل ۵-۱۵: منحنی سرعت قائم، منحنی برآزش شده و نتایج حل تحلیلی در دبی  $0.4$  لیتر بر دقیقه..... ۱۳۹
- شکل ۵-۱۶: تصاویر آزمایش در حالت دبی  $0.5$  لیتر بر دقیقه..... ۱۴۰
- شکل ۵-۱۷: کانتور سرعت قائم در دبی  $0.5$  لیتر بر دقیقه..... ۱۴۱
- شکل ۵-۱۸: منحنی سرعت قائم، منحنی برآزش شده و نتایج حل تحلیلی در دبی  $0.5$  لیتر بر دقیقه..... ۱۴۱
- شکل ۵-۱۹: تصاویر آزمایش در حالت دبی  $0.6$  لیتر بر دقیقه..... ۱۴۲

- شکل ۵-۲۰: کانتور سرعت قائم در دبی  $0/6$  لیتر بر دقیقه. .... ۱۴۳
- شکل ۵-۲۱: منحنی سرعت قائم، منحنی برازش شده و نتایج حل تحلیلی در دبی  $0/6$  لیتر بر دقیقه. .... ۱۴۳
- شکل ۵-۲۲: تصاویر آزمایش در حالت دبی  $0/7$  لیتر بر دقیقه. .... ۱۴۴
- شکل ۵-۲۳: کانتور سرعت قائم در دبی  $0/7$  لیتر بر دقیقه. .... ۱۴۵
- شکل ۵-۲۴: منحنی سرعت قائم، منحنی برازش شده و نتایج حل تحلیلی در دبی  $0/7$  لیتر بر دقیقه. .... ۱۴۵

## فهرست علائم اختصاری:

ثابت	$A$
ثابت	$a$
قسمتی از ماتریس تصویر در تصویر اول	$A_i$
نرخ گسترش صفحه	$b$
میدان مغناطیسی	$B(x)$
میدان مغناطیسی یکنواخت خارجی	$B_0$
قسمتی از ماتریس تصویر در تصویر دوم	$B_i$
غلظت	$C$
ثابت	$c$
ضریب اصطکاک سطحی	$C_f$
گرمای ویژه در فشار ثابت	$c_p$
حساسیت غلظت	$c_s$
ثابت	$D$
ضریب پخش گرمی	$D_e$
نیروی برشی	$F$
پارامتر بی بعد سرعت	$f'$
شتاب جاذبه	$g$
دمای بی بعد در حالت PHF	$g(\eta)$
ضریب انتقال حرارت جابجایی	$h$
رسانایی حرارتی	$k$
ضریب جذب متوسط	$k^*$
نسبت پخش گرمایی	$k_T$
طول صفحه	$l$
اثر زاویه‌ی گوه	$m$
اختلاف تنش‌های قائم	$N$
ثابت	$n$
فشار	$p$
پیکسل دارای ضریب همبستگی حداکثر	$P$
نرخ حجمی تولید گرما	$Q$
بردار شار گرما	$q''$
تولید گرمای داخلی	$q'''$
پخش گرمای تابشی	$q_r$
شار گرمای دیواره	$Q_w$
جهت شعاعی در دستگاه مختصات استوانه‌ای	$r$

شعاع سیلندر دایروی	$r_1$
ضریب همبستگی	$R$
زمان	$t$
دمای سیال	$T$
دمای میانگین سیال	$T_m$
دمای سیال روی دیواره	$T_s$
سرعت صفحه‌ی بالایی در جریان کوئت	$U$
نرخ گسترش صفحه‌ی گسترده‌ی نمایی	$U_0$
مؤلفه‌ی سرعت در راستای صفحه	$u$
سرعت جریان آزاد	$u_e$
سرعت لغزشی	$u_s$
سرعت گسترش صفحه	$u_w$
مؤلفه‌ی سرعت در راستای قائم بر صفحه	$v$
سرعت مکش/دمش	$v_w$
راستای موازی صفحه در دستگاه مختصات دکارتی	$x$
نقطه‌ی جدایش	$x_s$
جهت عمود بر صفحه در دستگاه مختصات دکارتی	$y$
اپراتور خطی	$\mathcal{L}$
پارامتر غیر صفر کمکی	$\hbar$
اپراتور غیر خطی	$\mathcal{N}$
تابع کمکی	$\mathcal{H}$

#### پارامترهای بی بعد

عدد دو فور	$Du$
عدد اکرت	$Ec$
عدد گرافش	$Gr$
عدد نادسن	$Kn$
پارامتر ویسکوالاستیک	$k_1$
پارامتر تخلخل محیط	$k_2$
عدد لوییس	$Le$
پارامتر میدان مغناطیسی	$Mn$
پارامتر شناوری غلظت	$N$
پارامتر تابش گرمایی	$Nr$
عدد ناسلت	$Nu$
عدد پرانتل	$Pr$
پارامتر دمای دیواره	$r$