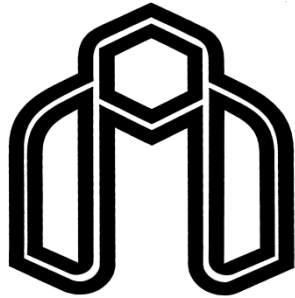


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی مکانیک

گروه تبدیل انرژی

# بررسی عددی جریان‌های غیردائم سیال ویسکوالاستیک در کانال‌های بسته

نگارش:

امین شریعت خواه

استاد راهنما:

دکتر محمود نوروزی

استاد مشاور:

دکتر محمدرضا حیرانی نوبری

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

زمستان ۱۳۹۱

## تعهد نامه

اینجانب امین شریعت خواه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک- گرایش تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان " بررسی عددی جریان های غیردائم سیال ویسکوالاستیک در کانال های بسته "

تحت راهنمایی دکتر محمود نوروزی و دکتر محمدرضا کیهانی نوبری متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

### تاریخ

### امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مکانیک

گروه : تبدیل انرژی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای امین شریعت خواه

تحت عنوان:

بررسی عددی جریان های غیردائم سیال ویسکوالاستیک در کانال های بسته

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد  
مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	استاد مشاور	امضاء	استاد راهنما
	نام و نام خانوادگی : دکتر محمدرضا حیرانی نوبری		نام و نام خانوادگی : دکتر محمود نوروزی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر محسن نظری		نام و نام خانوادگی : دکتر علی جباری مقدم
			نام و نام خانوادگی : دکتر محمد حسن کیهانی

تقدیم بہ

پدر دلسوزم،

مادر مہربانم،

وہر آن کہ سزاوار نام "دوست" است.

## تشکر و قدردانی

ضمن سپاس فراوان از حضرت باری تعالی، لازم می‌دانم از تمامی اساتید محترمی که در این مدت افتخار شاگردی ایشان را داشته‌ام، به ویژه اساتید محترم جناب آقای دکتر محمود نوروزی و جناب آقای دکتر محمدرضا حیرانی نوبری که با راهنمایی‌های راهگشا و کارآمد، نظارت و سرپرستی این تحقیق را به عهده داشته‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

## چکیده

در این تحقیق، به بررسی عددی جریان‌های غیردائم سیال ویسکوالاستیک پرداخته شده است. برای این منظور ابتدا به مطالعه‌ی روش‌های عددی و الگوریتم‌های مورد استفاده در جریان‌های غیردائم پرداخته می‌شود. سپس با استفاده از روش تفاضل محدود و الگوریتم پروجکشن به حل جریان کوئت پرداخته می‌شود. با بررسی این الگوریتم مشاهده می‌گردد که در مسائلی که عامل حرکت سیال اختلاف فشار می‌باشد، الگوریتم با مشکل مواجه می‌شود. از این رو برای بررسی این دسته از مسائل از الگوریتم PISO استفاده می‌شود.

جریان‌های ثانویه‌ی سیال ویسکوالاستیک در کانال‌های غیرمدور مستقیم، مسأله‌ی غیردائم دیگری است که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. این مسأله از مسائل کلاسیک مکانیک سیالات غیرنیوتنی می‌باشد. تحقیقات بسیار زیادی بر روی این موضوع در جریان‌های دائم صورت گرفته است. اما بررسی این جریان در حالت غیردائم برای اولین بار در این تحقیق صورت می‌گیرد. سطح مقطع استفاده شده مربع می‌باشد. به دلیل داشتن دو تقارن محوری، جریان در یک چهارم کانال حل می‌شود. در این تحقیق مشاهده می‌شود که گردابه‌های حاصل از جریان ثانویه از گوشه‌ها شروع به شکل-گیری می‌کنند و سپس به مرکز ناحیه محاسباتی که یک چهارم کانال می‌باشد، منتقل می‌شود. شدت گردابه‌ها هم‌چون سرعت محوری، دارای نوسان می‌باشد. در نهایت جریان پایا شده و در یک چهارم ناحیه‌ی محاسباتی دو گردابه باقی می‌مانند. در این تحقیق اثر ضریب تحرک ( $\alpha$ ) و عدد الاستیک (E) بررسی می‌شود. افزایش این دو عدد باعث افزایش دامنه‌ی نوسانات می‌شود. افزایش عدد الاستیک زمان رسیدن به حالت پایا را کاهش می‌دهد.

در انتها یکی از کاربردهای جریان‌های غیردائم سیال ویسکوالاستیک یعنی جریان خون در رگ مدل‌سازی می‌شود. در این تحقیق برای اولین بار از یک مدل غیرخطی ویسکوالاستیک یعنی مدل گزیکس برای مدل‌سازی استفاده می‌گردد. برای سرعت ورودی از داده‌های تجربی مربوط به اندازه-گیری سرعت خون در رگ موش استفاده می‌گردد. در این تحقیق نشان داده می‌شود که برای رگ-



های با قطر کم مانند مویرگ‌ها که دارای نرخ برش کم می‌باشند، تنها مدل‌های غیرخطی ویسکوالاستیک قادر به تفسیر صحیح ویسکوزیته‌ی خون می‌باشند. در این تحقیق با استفاده از داده‌های تجربی مربوط به تغییرات ویسکوزیته با نرخ برش، بهترین مقدار برای ثابت‌های مدل گزیکس در مدل‌سازی خون استخراج می‌شود. با استفاده از این ضرائب جریان خون در یک رگ ساده که یک استوانه است مدل‌سازی می‌گردد. به دلیل وجود تقارن محوری جریان به صورت دو بعدی مدل می‌شود. از نتایج بدست آمده مشخص می‌گردد که تنش دیواره که از فاکتورهای مهم در بررسی بیماری‌های قلب و عروقی می‌باشد، در سیال گزیکس کمتر از سیال نیوتنی می‌باشد. نتیجه‌ی حاصل منطبق بر این خاصیت حرکت گلبول‌های قرمز می‌باشد که در رگ‌هایی با قطر کم، در مجاورت دیواره‌ی رگ یک لایه از پلاسما (بخش نیوتنی سیال) وجود دارد و حضور گلبول‌های قرمز (بخش ویسکوالاستیک سیال) در این لایه کم می‌باشد. با توجه به این موضوع و قابلیت مدل گزیکس در توصیف رفتار ویسکوزیته‌ی خون، این نتیجه حاصل می‌شود که مدل مذکور مدلی مناسب برای مدل‌سازی جریان خون می‌باشد.

## فهرست مطالب

۱	فصل ۱. مقدمه
۲	۱-۱-۱- دیاچه
۳	۲-۱- معرفی زمینه کار
۵	۳-۱- پیشینه تحقیق
۶	۱-۳-۱- تاریخچه
۸	۲-۳-۱- تحقیقات پیرامون مدل سازی جریان های غیر پایای ویسکوالاستیک
۹	۱-۲-۳-۱- مراجع مرتبط با الگوریتم پروجکشن
۱۱	۲-۲-۳-۱- مراجع تحلیلی
۱۲	۳-۲-۳-۱- مراجع عددی
۱۴	۴-۲-۳-۱- مراجع پیرامون روش های عددی در جریان غیر پایای ویسکوالاستیک
۱۶	۳-۳-۱- تحقیقات پیرامون جریان های ثانویه در کانال مستقیم با مقطع غیر مدور
۱۹	۴-۳-۱- تحقیقات پیرامون مدل سازی جریان خون در رگ
۲۰	۱-۴-۳-۱- تحقیقات در راستای اندازه گیری ویژگی های فیزیکی و مکانیکی خون
۲۴	۲-۴-۳-۱- تحقیقات پیرامون مدل سازی جریان خون در رگ
۲۶	۴-۴-۱- معرفی تحقیق حاضر
۲۶	۱-۴-۱- معرفی
۲۸	۲-۴-۱- معادلات
۲۸	۳-۴-۱- روش محاسباتی
۲۹	۴-۴-۱- مخاطبان
۲۹	۵-۴-۱- نوآوری پژوهش
۳۰	۶-۴-۱- ضرورت و اهمیت
۳۱	۷-۴-۱- اهداف
۳۱	۸-۴-۱- کاربردها
۳۴	فصل ۲. فیزیک مسأله و معادلات حاکم بر جریان
۳۵	۱-۲- مقدمه
۳۵	۲-۲- جریان کوئت
۳۵	۱-۲-۲- هندسه
۳۶	۲-۲-۲- معادلات حاکم

۳۱	-----	۳-۲-۲- شرایط مرزی و شرایط اولیه
۴۰	-----	۳-۲- جریان ثانویه در کانال غیر مدور مستقیم
۴۰	-----	۱-۳-۲- هندسه
۴۱	-----	۲-۳-۲- معادلات حاکم بر جریان
۴۳	-----	۳-۳-۲- شرایط مرزی و شرایط اولیه
۴۵	-----	۴-۲- جریان خون در رگ
۴۵	-----	۱-۴-۲- هندسه
۴۶	-----	۲-۴-۲- معادلات حاکم بر جریان
۴۷	-----	۳-۴-۲- شرایط مرزی و اولیه
۵۱	-----	<b>فصل ۳. روش عددی</b>
۵۲	-----	۱-۳- مقدمه
۵۳	-----	۲-۳- جریان کوئت
۵۳	-----	۱-۲-۳- الگوریتم مورد استفاده
۵۴	-----	۲-۲-۳- روش پیاده سازی الگوریتم
۵۶	-----	۳-۲-۳- صورت ضمنی پیاده سازی الگوریتم پروجکشن
۵۸	-----	۴-۲-۳- شرایط مرزی در الگوریتم پروجکشن
۵۸	-----	۳-۳- معرفی نرم افزار آپن فوم
۶۱	-----	۴-۳- روش حل در آپن فوم
۶۳	-----	۵-۳- حل جریان های ثانویه در کانال غیر مدور
۷۵	-----	۶-۳- حل جریان خون در رگ
۸۶	-----	<b>فصل ۴. بررسی نتایج</b>
۸۷	-----	۱-۴- مقدمه
۸۷	-----	۲-۴- نتایج مربوط به جریان کوئت
۱۷	-----	۱-۲-۴- مطالعه‌ی استقلال حل از شبکه
۱۱	-----	۲-۲-۴- نتایج مربوط به حرکت صفحه با سرعت ثابت
۹۲	-----	۳-۲-۴- نتایج مربوط به جریان کوئت نوسانی
۹۴	-----	۳-۴- جریان های ثانویه در کانال مستقیم غیرمدور
۹۵	-----	۱-۳-۴- مطالعه‌ی استقلال حل از شبکه
۹۶	-----	۲-۳-۴- بررسی سرعت ها و شدت جریان ثانویه
۱۰۵	-----	۳-۳-۴- بررسی شکل گردابه‌ها و نحوه‌ی تشکیل آنها
۱۱۴	-----	۴-۴- جریان خون در رگ
۱۱۴	-----	۱-۴-۴- مطالعه‌ی استقلال حل از شبکه

۱۱۵-----۲-۴-۴- نتایج حاصل شده از حل جریان خون در رگ

۱۲۳----- فصل ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۲۴-----۱-۵- مقدمه

۱۲۴-----۲-۵- روش‌های حل عددی و حل جریان کوئت

۱۲۶-----۳-۵- جریان‌های ثانویه در کانال غیر مدور مستقیم

۱۲۶-----۴-۵- حل جریان خون در رگ

۱۲۷-----۵-۵- پیشنهادات برای تحقیقات آینده

۱۲۹----- الف - ضمیمه

۱۴۱----- مراجع

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) اعمال چرخش به سیال نیوتنی (N) - سیال ویسکوالاستیک (V) [۴۰]..... ۴
- شکل (۲-۱) مدلسازی افتادن قطره با استفاده از مدل نیوتنی (سمت چپ) و مدل ویسکوالاستیک (سمت راست) ..... ۱۰
- شکل (۳-۱) سرعت در میانه کانال برحسب زمان برای مقادیر مختلف  $\lambda$  در مدل اولدرویید- بی ..... ۱۱
- شکل (۴-۱) سرعت (سمت چپ) و تنش (سمت راست) مربوط به ۳ نقطه از کانال برحسب زمان در جریان کوئت [۷] ..... ۱۲
- شکل (۵-۱) ریختن جریان خروجی از جت در یک ظرف برای سیال نیوتنی (سمت راست) ..... ۱۳
- شکل (۶-۱) تأثیر عدد الاستیک بر نمودار سرعت-زمان میانه ی کانال در جریان پویزله برای مدل اولدرویید- بی [۱۰] ..... ۱۴
- شکل (۷-۱) نمودار سرعت-زمان برای به حرکت در آمدن (سمت چپ) و توقف سیال (سمت راست) ..... ۱۵
- شکل (۸-۱) سرعت در میانه ی کانال برحسب زمان در مدلسازی جریان پویزله با استفاده از مدل UCM ..... ۱۶
- شکل (۹-۱) بررسی تأثیر نسبت طول به عرض در شکل گردابه ها در جریان ثانویه [۱۵] ..... ۱۷
- شکل (۱۰-۱) جریان های ثانویه در چند ضلعی های مختلف [۱۶] ..... ۱۸
- شکل (۱۱-۱) تاثیر جنس سیال در شکل و قدرت گردابه های جریان ثانویه [۱۷] ..... ۱۹
- شکل (۱۲-۱) تاثیر قطر رگ بر ویسکوزیته ی خون در هموتوکریته های متفاوت [۱۸] ..... ۲۱
- شکل (۱۳-۱) عکس میکروسکوپی از مویرگ موش در دو زمان مختلف [۲۱] ..... ۲۲
- شکل (۱۴-۱) پروفیل سرعت خون در مویرگ موش زنده [۲۱] ..... ۲۲
- شکل (۱۵-۱) زمان رهایی از تنش خون در مقادیر متفاوت نرخ برش [۲۵] ..... ۲۳
- شکل (۱۶-۱) سیستم خونرسانی بدن انسان و در صد خون موجود در هر قسمت [۲۵] ..... ۲۴
- شکل (۱۷-۱) مقایسه ی پروفیل سرعت حاصل از مدلسازی خون توسط مدل های مختلف غیرنیوتنی با نتایج آزمایشگاهی [۳۰] ..... ۲۵
- شکل (۱-۲) هندسه ی جریان کوئت ..... ۳۵
- شکل (۲-۲) شرایط مرزی و شرایط اولیه در جریان کوئت ..... ۳۹

- شکل (۳-۲) هندسه ی مربوط به مسأله جریانهای ثانویه در کانال غیرمدور مستقیم ( Z جهت جریان اصلی میباشد) ..... ۴۰
- شکل (۴-۲) شرایط مرزی و اولیه مربوط به مسأله ی جریانهای ثانویه ..... ۴۴
- شکل (۵-۲) نمایش شماتیک شرط مرزی پرئودیک در مسأله ی جریان های ثانویه ..... ۴۵
- شکل (۶-۲) هندسه ی جریان خون در رگ ..... ۴۶
- شکل (۷-۲) نمودار سرعت خون در مویرگ ۲ گونه موش زنده بر حسب زمان [۲۱] ..... ۴۸
- شکل (۸-۲) پروفیل سرعت خون در مویرگ موش در دو حالت ماکزیمم و مینیمم سرعت [۲۱] ..... ۴۹
- شکل (۹-۲) نمودار استفاده شده برای شرط مرزی سرعت در ورودی ..... ۵۰
- شکل (۱-۳)فلوچارت روش پروجکشن برای حل معادلات ممنوم ..... ۵۴
- شکل (۲-۳)الگوریتم روش عددی PISO به صورت فلوچارت [۳۴] ..... ۶۲
- شکل (۳-۳)شبکه ی مربوط به مسأله ی جریانهای ثانویه ..... ۶۳
- شکل (۴-۳)شماتیک شبکه ی قابل قبول در نرمافزار آپن فوم برای حل جریان متقارن محوری ..... ۷۶
- شکل (۵-۳)شبکه ی گوه ای شکل مربوط به مسأله ی جریان خون در رگ ..... ۷۷
- شکل (۱-۴)هندسه جریان و مکان نقاطی که نتایج مربوط به آنها گزارش شده است. .... ۸۸
- شکل (۲-۴)سرعت جریان کوئنت در  $WE=1$  ..... ۸۹
- شکل (۳-۴)سرعت جریان کوئنت در  $WE=10$  ..... ۸۹
- شکل (۴-۴)سرعت جریان کوئنت در  $WE=100$  ..... ۸۹
- شکل (۵-۴)تنش جریان کوئنت در  $WE=1$  ..... ۹۰
- شکل (۶-۴)تنش جریان کوئنت در  $WE=10$  ..... ۹۱
- شکل (۷-۴)تنش جریان کوئنت در  $WE=100$  ..... ۹۱
- شکل (۸-۴)سرعت جریان کوئنت با عامل تحریک سینوسی ..... ۹۳
- شکل (۹-۴)تنش برشی در جریان کوئنت نوسانی ..... ۹۳
- شکل (۱۰-۴)اختلاف فاز تنش و سرعت در  $WE=1$  ..... ۹۴
- شکل (۱۱-۴)اثرات ضریب تحرک بر سرعت محوری ( $E=0.1$ ) ..... ۹۶
- شکل (۱۲-۴)تاثیر عدد الاستیک بر روی سرعت محوری ( $\alpha=0.5$ ) ..... ۹۷

- شکل (۴-۱۳) بررسی تأثیر عدد الاستیک بر سرعت، مربوط به تحقیق [۱۰]..... ۹۷
- شکل (۴-۱۴) کانتور سرعت محوری در زمانهای مختلف ( $\alpha=0.5, E=0.5$ ) ..... ۹۹
- شکل (۴-۱۵) تأثیر ضریب تحرک بر  $U_x$  ( $E=0.1$ ) ..... ۱۰۰
- شکل (۴-۱۶) تأثیر ضریب تحرک بر  $U_y$  ( $E=0.1$ ) ..... ۱۰۰
- شکل (۴-۱۷) تأثیر عدد الاستیک بر  $U_x$  ( $\alpha=0.5$ ) ..... ۱۰۱
- شکل (۴-۱۸) تأثیر عدد الاستیک بر  $U_y$  ( $\alpha=0.5$ ) ..... ۱۰۱
- شکل (۴-۱۹) تأثیر ضریب تحرک بر شدت جریان های ثانویه ( $E=0.1$ ) ..... ۱۰۲
- شکل (۴-۲۰) تأثیر عدد الاستیک بر شدت جریان های ثانویه ( $\alpha=0.5$ ) ..... ۱۰۲
- شکل (۴-۲۱) تأثیر ضریب تحرک در مقدار ماکزیمم  $S$  ( $E=0.1$ ) ..... ۱۰۳
- شکل (۴-۲۲) تأثیر عدد الاستیک بر مقدار ماکزیمم  $S$  ( $\alpha=0.5$ ) ..... ۱۰۳
- شکل (۴-۲۳) مقایسه ی نتایج حاصل از شبکه ریز و درشت ..... ۱۰۴
- شکل (۴-۲۴) گردابه های حاصل از جریان های ثانویه ( $E=0.1, \alpha=0.1$ ) ..... ۱۰۶
- شکل (۴-۲۵) گردابه های حاصل از جریان ثانویه ( $E=0.5, \alpha=0.5$ ) ..... ۱۰۷
- شکل (۴-۲۶) کانتور  $U_x$  در گام های زمانی مختلف ( $E = 0.1, \alpha = 0.1$ ) ..... ۱۰۸
- شکل (۴-۲۷) کانتور  $U_y$  در گام های زمانی مختلف ( $E = 0.1, \alpha = 0.1$ ) ..... ۱۰۹
- شکل (۴-۲۸) کانتور  $S$  در گام های زمانی مختلف ( $E = 0.1, \alpha = 0.1$ ) ..... ۱۱۰
- شکل (۴-۲۹) کانتور  $U_x$  در گام های زمانی مختلف ( $E = 0.5, \alpha = 0.5$ ) ..... ۱۱۱
- شکل (۴-۳۰) کانتور  $U_y$  در گام های زمانی مختلف ( $E = 0.5, \alpha = 0.5$ ) ..... ۱۱۲
- شکل (۴-۳۱) کانتور  $S$  در گام های زمانی مختلف ( $E = 0.5, \alpha = 0.5$ ) ..... ۱۱۳
- شکل (۴-۳۲) مقایسه ی رفتار ویسکوزیته حاصل از مدل های متفاوت با داده های تجربی [۲۳] در جریان  
برشی ساده ..... ۱۱۵
- شکل (۴-۳۳) پروفیل سرعت در راستای شعاعی در دو زمان (A) دیاستول (مینیمم سرعت) (B) سیستول  
(ماکزیمم سرعت) ..... ۱۱۷
- شکل (۴-۳۴) تحقیق توسعه یافتگی سرعت بر روی محور تقارن در دو زمان (A) دیاستول (مینیمم سرعت)  
(B) سیستول (ماکزیمم سرعت) ..... ۱۱۸

- شکل (۴-۳۵) تغییرات سرعت ورودی و سرعت حاصل از سه مدل نسبت به تغییر زمان ..... ۱۱۹
- شکل (۴-۳۶) تغییرات تنش دیواره بر حسب زمان ..... ۱۲۰
- شکل (۴-۳۷) وجود یک لایه از پلاسما در مجاورت دیواره و کم بودن حضور گلبولهای قرمز در این لایه  
[۲۶] ..... ۱۲۰
- شکل (۴-۳۸) نرخ برش در جهت شعاعی مربوط به سیستم (ماکزیمم سرعت) به همراه پروفیل سرعت  
مربوط به آن ..... ۱۲۱
- شکل (۴-۳۹) کانتور سرعت الف. زمان مینیمم سرعت ب. ماکزیمم سرعت ..... ۱۲۱
- شکل (۴-۴۰) کانتور تنش برشی الف. مینیمم سرعت ب. ماکزیمم سرعت ..... ۱۲۲



## فهرست جداول

- جدول (۱-۴) اختلاف در نتایج حاصل از شبکه ی ریز و درشت ..... ۸۷
- جدول (۲-۴) اختلاف در نتایج مربوط به شبکه ی ریز و درشت ( $E=0.1$ ) ..... ۹۵
- جدول (۳-۴) اختلاف در نتایج مربوط به شبکه ی ریز و درشت ( $\alpha=0.5$ ) ..... ۹۵
- جدول (۴-۴) اختلاف نتایج بدست آمده از شبکه ی ریز و درشت ..... ۱۱۵

## فهرست علائم

نرخ برش (1/s)	d
عدد بی بعد الاستیک (نسبت عدد وایزنبرگ به عدد رینولدز)	E
فشار (pa)	p
شدت جریان‌های ثانویه (m/s)	s
زمان (s)	t
تنش ویسکوز (N/m <sup>2</sup> )	T
سرعت (m/s)	u
عدد بی بعد وایزنبرگ	We

## نمادهای یونانی

ضریب تحرک	$\alpha$
نسبت ویسکوزیته نیوتنی به ویسکوزیته پلیمری	$\beta$
نرخ برش (1/s)	$\dot{\gamma}$
تابع دلتای دیراک	$\delta$
ویسکوزیته ی حلال (قسمت نیوتنی سیال) (pa.s)	$\eta_s$
ویسکوزیته پلیمری (قسمت ویسکوالاستیک سیال) (pa.s)	$\eta_p$
وسکوزیته در نرخ برش صفر (pa.s)	$\eta_0$
زمان رهایی از تنش (s)	$\lambda$
ویسکوزیته (pa.s)	$\mu$
چگالی (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$
تانسور تنش کوشی (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma$
تنش ویسکوالاستیک (N/m <sup>2</sup> )	$\tau$

## فصل ۱. مقدمه

## ۱-۱- دیباچه

سیالات و جامدات دو گرایش مهم علم مکانیک می‌باشند. محققان این گرایش‌ها به ترتیب رفتار سیالات و جامدات را مورد بررسی قرار می‌دهند. اما همواره موادی مشاهده می‌شوند که رفتاری مابین سیالات و جامدات دارند. موادی که اگرچه همانند سیالات جریان می‌یابند، اما رفتاری متمایز از سیال‌های معمولی مانند آب، روغن و هوا دارند. به عنوان مثال موادی که به شکل ظرفی که در آن قرار دارند درنیامده و می‌توانند از خود شکل داشته باشند، یا برخلاف سیالاتی مثل آب، برای جریان یافتن بایستی نیرویی که به آن‌ها وارد می‌شود از یک مقدار معین بیشتر باشد. از مواد غیرصنعتی که دارای این ویژگی می‌باشند، می‌توان به خمیردندان و رب گوجه‌فرنگی و از مواد صنعتی می‌توان به محلول‌های پلیمری اشاره نمود. بررسی ویژگی‌های این مواد یکی از موضوعات علم مکانیک در قرن اخیر بوده است.

اگر برای مواد موجود در عالم یک طیف در نظر گرفته شود، سیالات را در یک انتهای طیف قرار داده و جامدات را در انتهای دیگر، مواد مذکور در وسط این طیف قرار خواهند گرفت. آن دسته که به جامدات نزدیک‌ترند را **جامدات ویسکوالاستیک** و آن‌هایی که به سیالات نزدیکند را **سیالات ویسکوالاستیک** می‌نامند. این مواد رفتاری بسیار پیچیده‌تر از سیالات و جامدات دارند و مدل‌سازی آنها روز به روز در حال تکامل می‌باشد. در این تحقیق با بهره‌گیری از روش عددی به بررسی رفتار سیالات ویسکوالاستیک در مسائل غیرپایا پرداخته خواهد شد.

در ابتدای فصل معرفی مختصری از زمینه‌ی کار صورت خواهد گرفت. سپس به بررسی مطالعات پیشین پرداخته خواهد شد. با این بررسی ضرورت و اهمیت تحقیق حاضر روشن‌تر خواهد شد. در انتهای فصل تحقیق حاضر معرفی خواهد شد.

در فصل دوم فیزیک مسأله و معادلات حاکم مورد بررسی قرار خواهند گرفت. موضوع فصل سوم روش عددی بکار گرفته شده می‌باشد. نتایج حاصل شده از مدل‌سازی عددی در فصل چهارم ارائه خواهند شد. نتیجه‌گیری کلی از انجام این تحقیق فصل ششم را تشکیل خواهد داد. در انتها مراجع