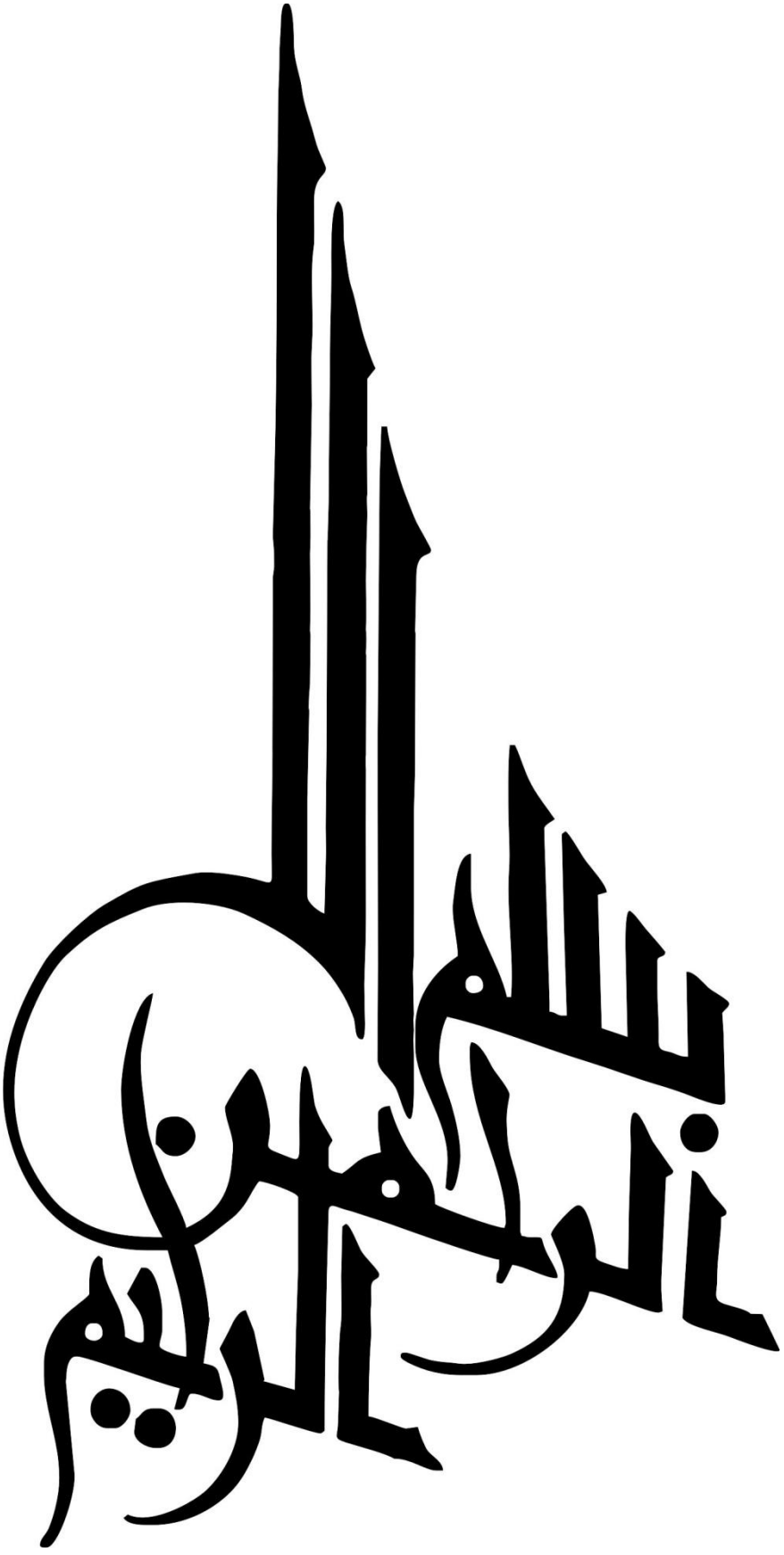
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده عمران و معماری

گروه مهندسی عمران- گرایش سازه های هیدرولیکی

بررسی عددی جریان آشفته در کانالهای غیرمدور

دانشجو: سکینه عمارلو

استاد راهنما:

دکتر رامین امینی

استاد مشاور:

دکتر محمود نوروزی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیر ۹۱

دانشکده صنعتی شاهرود

دانشکده عمران و معماری

گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد سکینه عمارلو

تحت عنوان:

بررسی عددی جریان آشفته در کانالهای غیرمدور

درتاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و بادرجه پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضا
نام و نام خانوادگی: دکتر رامین امینی	

اساتید داور	امضا	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضا
نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: مهندس عباس محمدی	
نام و نام خانوادگی:			
نام و نام خانوادگی:			
نام و نام خانوادگی:			

تعهدنامه

اینجانب سکینه عمارلو دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران – گرایش سازه های هیدرولیکی دانشکده عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "بررسی عددی جریان آشفته در کانالهای غیرمدور" تحت راهنمایی آقای دکتر رامین امینی به عنوان استاد راهنما و دکتر محمود نوروزی به عنوان مشاورمتعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخورداراست.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای 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 تاثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- درکلیه مراحل انجام این پایان نامه, در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- درکلیه مراحل انجام 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 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.

تقدیم اثر

تقدیم به سه وجود مقدس:

. . . آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم

. . . موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم

. . . و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

تشکروقدردانی

خداوند مهربان را شاکرم که مرا نیرو بخشید تا نگارش پایان نامه پیش رو را به اتمام برسانم. بر خود لازم می دانم کمال تقدیر و تشکر خود را نثار کسانی کنم که در این مسیر پر فراز و نشیب از راهنمایی، پشتیبانی و تشویق من دریغ نکردند. از استاد بزرگوارم، آقای دکتر امینی، و استاد بردبارم آقای دکتر نوروزی که در تمام این مدت تجاربشان را که سرشار از آموختن توامان علم و اخلاق بود، در اختیارم گذاشتند، نهایت تشکر را دارم.

از آقای مهندس شتاب بوشهری بابت همکاری و راهنمایی در نرم افزار سپاسگزاری می نمایم.

امید است که این تحقیق, راه گشای کسانی باشد که در آینده در این مسیر گام می نهند.

چکیده

تجربه های آزمایشگاهی نشان می دهد که جریان های طولی توسعه یافته آشفته، در کانال های غیر دایره ای سبب ایجاد جریان های ثانویه می شوند. این جریان های ثانویه ممنتوم و حرارت را از مرکز کانال به سمت کناره ها هدایت می نمایند و در نتیجه از لحاظ مهندسی قابل توجه می باشند. تحقیقات نشان می دهند که برای مدلسازی عددی جریان های ثانویه لازم است که اولاً کانال غیر دایره ای باشد، ثانیاً جریان آشفته باشد، ثالثاً جریان به صورت کاملاً توسعه یافته درآید (جریان طول زیادی از کانال را بپیماید). اکثر تحقیقات گذشته روی کانال های مربع متمرکز شده است ولی در این تحقیق انواع شکل ها شامل مربع، مستطیل، پنج ضلعی منتظم، شش ضلعی منتظم، هشت ضلعی منتظم و دوازده ضلعی منتظم در نظر گرفته شده اند. هدف این بوده که نشان دهیم هر چه تعداد اضلاع زیاد شوند و شکل به دایره نزدیک شود، اهمیت این جریان ها کاهش می یابد. همچنین در قسمت دیگری از این پایان نامه اثر گرد گوشه کردن اشکال بررسی شده است و نشان داده شده که تا چه حدودی گرد کردن گوشه ها سبب از بین رفتن اهمیت جریان های ثانویه می گردد.

برای انجام مدلسازی از نرم افزار منبع باز[1] و رایگان OpenFOAM استفاده شده است. دلایل این انتخاب قدرتمند بودن نرم افزار و امکان تغییر کدهای آن بوده است. برای مدلسازی آشفتگی از روش مدلسازی ادی های بزرگ[2] اسماگورینسکی[3] استفاده شده که قوی ترین مدل توربولانسی قابل کاربرد موجود می باشد (DNS[4] برای این کار از لحاظ هزینه غیر ممکن می باشد). برای انجام محاسبات OpenFOAM نیاز به سیستم عامل Linux و یادگیری کار در این محیط و برنامه نویسی فایل های مربوطه می باشد. همچنین حسب مورد نیاز، کد های لازم برای انجام محاسبات به این نرم افزار به زبان C++ اضافه گردید. برای امکان انجام محاسبات از کامپیوتر CORE i7 استفاده گردید تا این حجم از محاسبات امکان پذیر باشد. در OpenFOAM از حل کننده pisoFoam استفاده گردید که از

1-open source
2-Large Eddy Simulation
3- Smagorinsky
4- Dircet Numeical Simulation

الگوریتم PISO استفاده می نماید. در ابتدا نتایج کانال مربع شکل با کارهای قبلی مقایسه گردید و پس از اطمینان از صحت عملکرد، برای سایر اشکال کانال ها کار مدل سازی صورت گرفت. در نهایت دو مقاله از این تحقیق در دو کنفرانس ارائه گردید و یک مقاله در یک مجله علمی پژوهشی و یک مقاله نیز در کنفرانس انجمن هیدرولیک ایران در حال بررسی می باشد.

کلمات کلیدی:

جریان آشفته، کانال، مقاطع غیر دایره ای، منبع باز OpenFOAM ، شبیه سازی گردابه های بزرگ، گرد کردن گوشه ها

مقالات ارائه شده:

۱- مدل سازی جریان آشفته در یک کانال مربعی مستقیم – دانشگاه آزاد اسلامی، لشت- نشا، زیباکنار، ۲۷ بهمن ۱۳۹۰(مورد پذیرش قرار گرفت.)

۲- مدل سازی ادی های بزرگ جریان آشفته در یک کانال مربعی مستقیم- شیراز -۲۶-۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۱ (به (صورت پوستری)

۳- شبیه سازی گردابه های بزرگ جریان آشفته در یک کانال غیر دایره ای مستقیم- مجله علمی پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس (در حال بررسی است.)

۴- بررسی عددی جریان آشفته در یک کانال چند ضلعی منتظم - یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران- ارومیه – آبان ۱۳۹۱(در حال بررسی است.)

فصل اول : کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- معادلات حاکم ۴

۱-۳- مروری بر تحقیقات پیشین ۵

۱-۴- معرفی تحقیق حاضر ۱۴

۱-۴-۱- کانال ۱۵

فصل دوم : روش های مدل سازی و معادلات حاکم

۲-۱- مقدمه ۲۰

۲-۲- مدل توربولانسی ۲۱

۲-۳- مدلهای اغتشاش صفر معادله‌ای ۲۷

۲-۴- مدل های یک معادله ای ۳۲

۲-۵- مدل‌های اغتشاش دو معادله‌ای ۳۳

۲-۵-۱- مدل $k-\varepsilon$ ۳۴

۲-۵-۱-۱- قابلیت های عمومی مدل استاندارد $k-\varepsilon$ ۳۵

۲-۵-۲- مدل $k-\omega$ ۳۷

۲-۵-۳- مدل RNG $k-\varepsilon$ ۳۹

۲-۵-۳-۱- بررسی ویژگی‌های مدل *RNG* $k-\varepsilon$ ۴۰

۲-۵-۴- روش LES ۴۱

۲-۵-۴-۱- معادلات حاکم ۴۳

۲-۶- شرایط مرزی ۴۷

۲-۶-۱- شرایط مرزی در دیواره‌های جامد ۴۹

فصل سوم: روش عددی

۳-۱- مقدمه ۵۱
۳-۲- الگوریتمPISO ۵۳
۳-۲- ۱- پیش بینی کننده سرعت ۵۴
۳-۲-۲ – تصحیح کننده ۵۵
۳-۳- نرم‌افزار OpenFOAM چیست؟ ۵۶
۳-۳-۱- معرفی نرم‌افزار OpenFOAM ۵۷
۳-۳-۲- سالورهای OpenFOAM ۵۸
۳-۳-۳- پس‌پردازش در OpenFOAM ۵۸
۳-۴- کد نویسی الگوریتم PISO در OpenFOAM ۵۹
۳-۴-۱- پیش بینی سرعت ۵۹
۳-۴-۲- حلقه تصحیح کننده ۶۰
۳-۵- نحوه مش بندی ۶۲

فصل چهارم: نتایج

۴-۱- مقدمه ۶۵
۴-۲- نحوه مش بندی ۶۵
۴-۲-۱- نحوه چاپ نتایج ۶۶
۴-۳- نتایج ۶۸
۴-۳-۱- غیر وابسته بودن حل عددی به شبکه ۶۸
۴-۳-۲- نحوه مش بندی و نتایج درکانال مقطع مربعی ۶۹
۴-۳-۳- تأیید نتایج در مقطع مربعی ۷۱
۴-۳-۴- ارائه نتایج در مقطع مربعی ۷۲
۴-۳-۵- ارائه نتایج در مقطع مستطیلی ۷۷

۴-۳-۶- ارائه نتایج در مقطع مثلثی ۷۹
۴-۳-۷- ارائه نتایج در مقطع پنج ضلعی ۸۱
۴-۳-۸- ارائه نتایج در مقطع شش ضلعی ۸۳
۴-۳-۹- ارائه نتایج در مقطع هشت ضلعی ۸۵
۴-۳-۱۰- ارائه نتایج در مقطع دوازده ضلعی ۸۷
۴-۳-۱۱- ارائه نتایج در مقطع دایره ای ۸۹
۴-۴- اثر گرد کردن گوشه ها در مقطع ۹۰
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۹
۵-۱- نتیجه گیری ۱۰۰
۵-۲- پیشنهادات ۱۰۱
پیوست ۱۰۳
الف-۱- OpenFOAM چیست؟ ۱۰۴
الف-۲- دانلود و نصب OpenFOAM ۱۰۵
الف-۳- ساختار کلی فولدرها ۱۰۶
الف-۴- حل کننده های OpenFOAM ۱۰۷
الف-۵- نحوه حل مسائل در OpenFOAM ۱۰۹
الف-۵-۱- فولدر constant ۱۱۰
الف-۵-۲- فولدر 0 ..... ۱۱۴
الف-۵- ۳- فولدر system ۱۱۷
الف-۶- نحوه اجرای حل کننده و مشاهده نتایج ۱۲۱
الف-۷- پس‌پردازش در OpenFOAM ۱۲۲
مراجع ۱۲۴

فهرست اشکال

شکل ۱-۱- شماتیک لایه مرزی و طول ورودی جریان در کانال ۱۴

شکل ۱-۲- شماتیک هندسه کانال مربعی ۱۵

شکل ۱-۳- شماتیک هندسه کانال مستطیلی ۱۶

شکل ۱-۴- شماتیک هندسه کانال مثلثی ۱۶

شکل ۱-۵- شماتیک هندسه کانال با مقطع (الف) پنج ضلعی- (ب) شش ضلعی-(ج) دوازده ضلعی ۱۷

شکل ۱-۶- مقطع گرد شده کانال ۱۷

شکل ۱-۷- مقطع گرد شده کانال ۱۸

شکل ۱-۸- مقطع گرد شده کانال ۱۸

شکل ۱-۹- مقطع گرد شده کانال ۱۸

شکل ۲-۱- رژیمهای مختلف جریان نزدیک سطح ۲۲

شکل ۲-۲- مقایسه پروفیلهای سرعت لایه های مرزی آرام و مغشوش ۲۲

شکل ۲-۳- نمایش مقادیر متوسط و نوسانی در جریانهای دائم و غیردائم ۲۳

شکل ۲-۴- شماتیک هندسه کانال و سیستم مختصات ۴۴

شکل ۳-۱- المان حجم محدود برای گره P ۵۲

شکل ۳-۲- نمونه‌ای از عملیات مختلف پس‌پردازش در OpenFOAM ۵۹

شکل ۴-۱- مش های مختلف در مقطع مستطیلی و وجود بردارهای سرعت ثانویه ۶۹

شکل ۴-۲- مش کانال مقطع مربعی ۷۰

شکل ۴-۳- (الف) بردارهای سرعت ثانویه متوسط و (ب)- کانتورهای سرعت متوسط جریان ۷۱

شکل ۴-۴- پروفیل های نرمالیزه شده سرعت جریان با سرعت اصلی جریان ۷۱

شکل ۴-۵- بردارهای سرعت ثانویه متوسط در یک چهارم مقطع ۷۲

شکل ۴-۶- کانتورهای گردابه های متوسط جریان ۷۲

شکل۴-۷- بردارهای سرعت ثانویه متوسط در یک چهارم مقطع ۷۳
شکل۴-۸- کانتورهای سرعت های ثانویه در عدد رینولدز ۱۰۰۰۰ در مقطع..... ۷۳
شکل۴-۹- کانتورهای ویسکوزیته ادی در رینولدز ۱۰۰۰۰در مقطع..... ۷۴
شکل ۴-۱۰– (الف) و (ب) کانتورهای رنگی تنش های عمودی رینولدز در مقطع جریان و (ج) کانتورهای رنگی تنش برشی در مقطع جریان ۷۴
شکل۴-۱۱- پروفیل های $(\overline{\acute{v}^2}, \overline{\acute{w}^2}, \overline{\acute{u}^2})$ در تحقیق حاضر و نتایج موجود ۷۵
شکل۴-۱۲- نمودار خطا در محاسبه سرعت ۷۶
شکل۴-۱۳- کانتورهای رنگی سرعت های ثانویه ۷۶
شکل۴-۱۴- کانتورهای رنگی فشار در مقطع ۷۷
شکل۴-۱۵- مش کانال مقطع مستطیلی ۷۷
شکل۴-۱۶-(الف)کانتورهای گردابه های متوسط جریان در یک چهارم مقطع مقطع (ب) بردارهای سرعت ثانویه متوسط در یک چهارم مقطع ۷۸
شکل ۴-۱۷- پروفیل های نرمالیزه شده سرعت جریان با سرعت اصلی در طول خط (y=0. 5 cm)..... ۷۸
شکل۴-۱۸-(الف) کانتورهای رنگی سرعت های ثانویه (ب)- کانتورهای سرعت متوسط جریان..... ۷۸
شکل ۴-۱۹- پروفیل های تنش های برشی در(y=0.1cm) در مقطع جریان..... ۷۹
شکل ۴-۲۰- کانتورهای فشار متوسط در مقطع جریان ۷۹
شکل ۴-۲۱- مش کانال مقطع مثلثی ۸۰
شکل۴-۲۲- (الف) بردارهای سرعت ثانویه متوسط -(ب) کانتورهای گردابه های متوسط جریان ۸۰
شکل ۴-۲۳- کانتورهای سرعت های ثانویه ۸۰
شکل۴-۲۴-(الف) پروفیل ویسکوزیته ادی در طول خط (y=1 cm) ۸۱
شکل ۴-۲۵ کانتورهای رنگی تنش های برشی (الف)$\overline{\acute{u}\acute{v}}$ (ب) $\overline{\acute{u}\acute{w}}$ (ج)$\overline{\acute{v}\acute{w}}$ ۸۱

شکل ۴-۲۶- مش کانال مقطع پنج ضلعی ۸۲
شکل ۴-۲۷– (الف) کانتورهای سرعت ثانویه متوسط –(ب) کانتورهای گردابه های متوسط جریان ۸۲
شکل۴-۲۸- اثر افزایش زمان روی جریان های ثانویه ۸۳
شکل۴-۲۹- مش کانال مقطع شش ضلعی ۸۴
شکل۴-۳۰– (الف) کانتورهای سرعت ثانویه متوسط –(ب) کانتورهای گردابه های متوسط جریان ۸۴
شکل ۴-۳۱- بردارهای سرعت ثانویه متوسط ۸۴
شکل ۴-۳۲- مش کانال مقطع هشت ضلعی ۸۵
شکل ۴-۳۳– (الف)- کانتورهای سرعت ثانویه متوسط(ب)- بردارهای سرعت ثانویه متوسط ۸۶
شکل ۴-۳۴- کانتورهای فشار در مقطع جریان ۸۶
شکل ۴-۳۵- مش کانال مقطع دوازده ضلعی ۸۷
شکل ۴-۳۶- (الف)-کانتورهای سرعت متوسط (ب)- پروفیل های نرمالیزه شده سرعت جریان با سرعت اصلی جریان های ثانویه ۸۷
شکل۴-۳۷- کانتورهای رنگی تنش های برشی(الف)$\overline{\acute{u}\acute{w}}$ (ب) $\overline{\acute{u}\acute{v}}$ (ج)$\overline{\acute{v}\acute{w}}$ ۸۸
شکل۴-۳۸-پروفیل های $\overline{w'^2}$, $\overline{v'^2}$ (تنش های عمودی) در طول خط(y=0.75cm) ۸۸
شکل۴-۳۹- کانتورهای فشار در مقطع جریان ۸۹
شکل ۴-۴۰- پروفیل نرمالیزه شده سرعت جریان با سرعت اصلی جریان در طول خط (y=1 cm)..... ۸۹
شکل۴-۴۱- کانتورهای گردابه های متوسط جریان ۸۹
شکل ۴-۴۲- کانتورهای تنش های عمودی در مقطع جریان ۹۰
شکل۴-۴۳- نحوه مش بندی در مقطع روند زده شده کانال ۹۱
شکل۴-۴۴- (الف) کانتورهای سرعت ثانویه متوسط (ب) کانتورهای گردابه های متوسط جریان ۹۱
شکل۴-۴۵- بردارهای سرعت ثانویه متوسط در یک چهارم مقطع ۹۱
شکل۴-۴۶-پروفیل های نرمالیزه شده سرعت جریان با سرعت اصلی جریان در طول خط(y=0. 5 cm)..... ۹۲

شکل ۴-۴۷– (الف) و (ب) کانتورهای رنگی تنش های عمودی رینولدز در مقطع جریان و (ج) کانتورهای رنگی تنش برشی در مقطع جریان ۹۲
شکل ۴-۴۸- نحوه مش بندی در مقطع روند زده شده کانال ۹۲
شکل۴-۴۹- (الف) کانتورهای سرعت ثانویه متوسط (ب) کانتورهای گردابه های متوسط جریان ۹۳
شکل۴-۵۰- کانتورهای رنگی تنش برشی(الف)$\overline{\acute{u}\acute{w}}$ (ب) $\overline{\acute{u}\acute{v}}$ (ج)$\overline{\acute{v}\acute{w}}$ ۹۳
شکل۴-۵۱- نمودار تنش های عمودی ۹۴
شکل۴-۵۲- کانتورهای رنگی سرعت های ثانویه ۹۵
شکل۴-۵۳- نحوه مش بندی در مقطع روند زده شده کانال ۹۵
شکل۴-۵۴- (الف) کانتورهای سرعت ثانویه متوسط – (ب) کانتورهای گردابه های متوسط جریان در یک چهارم مقطع ۹۵
شکل ۴-۵۵- بردارهای سرعت ثانویه متوسط ۹۶
شکل۴-۵۶- (الف)- کانتورهای ویسکوزیته ادی (ب)-کانتورهای فشار متوسط در مقطع جریان ۹۶
شکل ۴-۵۷- نحوه مش بندی در مقطع روند زده شده کانال ۹۶
شکل ۴-۵۸- (الف)کانتورهای سرعت متوسط (ب) کانتورهای گردابه های متوسط جریان در مقطع ۹۷
شکل ۴-۵۹- بردارهای سرعت متوسط در مقطع ۹۷
شکل ۴-۶۰- نمودار تنش های عمودی مقطع ۹۸
شکل ۴-۶۱- نمودار خطا در محاسبه سرعت ۹۸
شکل الف-۱- جزئیات موجود در حل کننده cavity ۱۱۰
شکل الف-۲- نمونه‌ای از عملیات مختلف پس‌پردازش در OpenFOAM ۱۲۳

فهرست جداول

جدول الف-۱- فولدر های موجود در OpenFOAM ۱۰۶

جدول الف-۲- تعدادی از حل کننده های اصلی در OpenFOAM ۱۰۷

فصل اول

کلیات

۱-۱-مقدمه

آشفتگی پدیده ای است که در جریان بسیاری سیالات وجود دارد. معادلات حاکم بر جریان سیال نیوتنی، معادلات ناویر- استوکس است که متأسفانه بجز در جریان های بسیار ساده، حل تحلیلی آن در دست نیست. به طور کلی برای تحلیل و پیش بینی رفتار جریان سیال در هندسه های مختلف، معادلات دیفرانسیل ناویر- استوکس با شرایط مرزی مناسب باید حل شوند.

جریان آشفته کاملاً توسعه یافته در کانال های مستطیلی مستقیم با جریان آشفته موجود در لوله ها به دو دلیل مهم تفاوت دارد:

۱- سه بعدی است و بنابر این دارای جزئیات پیچیده ای می باشد.

۲- در این مقاطع جریان های ثانویه وجود دارد که از پیچیدگی بیشتر جریان نتیجه می شود.

اخیرا مسأله انتقال حرارت سیالات در جریان آشفته در کانال های خنک کننده رآکتورهای هسته ای با مقطع مستطیلی یک موضوع مورد مطالعه و مهم می باشد. تحلیل انتقال حرارت در جریان آرام در مقاطع غیر دایره ای با شرایط مرزی گرمایی متفاوت نشان می دهد که توزیع دمای دیوار محیطی تأثیر زیادی روی عدد ناسلت[1] دارد. شرط مرزی دیوار با شار گرمایی ثابت، نسبت به دمای دیوار ثابت منجر به اعداد ناسلت پایین تری می شود.

کلید حل اینگونه مسائل مهندسی با فهم بهتر مکانیزم جزئیات جریان و با تأکید ویژه روی توزیع جریان نزدیک مرزهای جامد می باشد. جریان های ثانویه نقش مهمی در تعیین توزیع جریان کلی ایفا می کند، بنابر این باید به عنوان یک پارامتر مهم در نظر گرفته شود که نتایج انتقال حرارت را توضیح دهد. مسئله مهندسی مهم دیگری که نیاز به شناخت جزئیات جریان دارد، جریان رسوبات در رودخانه ها و کانال هاست. انتقال رسوبات به عنوان مسئله ای که به وسیله جریان های ثانویه تحت تأثیر قرار می گیرد، برای مهندسین عمران مسئله ای جالب بوده است. جریان های ثانویه در مقاطع خمیده و مستقیم جالب توجه است. اگرچه این کاربرد شامل جریان آشفته در کانال های باز است. پدیده جریان

1-Nusselt number