

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشگاه حکیم بنوری

دانشکده‌ی فنی و مهندسی

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته‌ی مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

بررسی عددی تحریک لایه مرزی توسط موانع پشت سرهم بر کانال

منحنی الشكل

استاد راهنما:

دکتر عبدالامیر بک خوشنویس

استاد مشاور:

دکتر میترا یادگاری دهکردی

پژوهشگر:

حمزه حقیقت جو

شهریور ۱۴۰۱



دانشگاه حکیم سبزواری

سوگندنامه دانش آموختگان دانشگاه حکیم سبزواری

اینک که به خواست آفریدگار پاک، کوشش خویش و بهره‌گیری از دانش استادان و سرمایه‌های مادی و معنوی این مرز و بوم، توشه‌ای از دانش و خرد گردآورده‌ام، در پیشگاه خداوند بزرگ سوگند یاد می‌کنم که در به کارگیری دانش خویش، همواره بر راه راست و درست گام بردارم. خداوند بزرگ، شما شاهدان، دانشجویان و دیگر حاضران را به عنوان داورانی امین گواه می‌گیرم که از همه دانش و توان خود برای گسترش مرزهای دانش بهره‌گیرم و از هیچ کوششی برای تبدیل جهان به جایی بهتر برای زیستن، دریغ نورزم. پیمان می‌بندم که همواره کرامت انسانی را در نظر داشته باشم و ممنوعان خود را در هر زمان و مکان تا سر حد امکان یاری دهم. سوگند می‌خورم که در به کارگیری دانش خویش به کاری که با راه و رسم انسانی، آیین پرهیزگاری، شرافت و اصول اخلاقی برخاسته از ادیان بزرگ الهی، به ویژه دین مبین اسلام، مبیانت دارد دست نیازم. همچنین در سایه اصول جهان شمول انسانی و اسلامی، پیمان می‌بندم از هیچ کوششی برای آبادانی و سرافرازی میهن و هم میهنانم فروگذاری نکنم و خداوند بزرگ را به یاری طلبم تا همواره در پیشگاه او و در برابر وجدان بیدار خویش و ملت سرافراز، بر این پیمان تا ابد استوار بمانم.

حمزه حقیقت‌جو

تاییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

بسمه تعالی

اینجانب حمزه حقیقت‌جو به شماره دانشجویی ۹۷۱۳۸۰۹۱۵۶ رشته مهندسی مکانیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه نتایج این پایان نامه حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف و موارد نسخه برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده ام در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مولفان و مصنفان، قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی ضوابط و مقررات آموزشی پژوهشی و انضباطی...) با این جانب رفتار خواهد شد. و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن مسئولیت هرگونه پاسخ‌گویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذیصلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی این جانب خواهد بود و دانشگاه هیچ گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

حمزه حقیقت‌جو



تشکر و قدردانی

اگر این مختصر را ارزشی است،

آن ارزش تقدیم به؛

قطب عالم امکان، حضرت امام زمان (عج)، آیت رب و دود و ناجی ملک وجود؛ آنکه جهانی درانتظار عدالت و لطف اوست.

تقدیم به؛

دستان آسمانی و شایان ستایش پدرم

دل دریایی و چشمان پر امید مادرم

قلب مهربان و پر عاطفه خواهر و برادرم

و

تمامی پویندگان علم و دانش.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	۱
فصل اول : مقدمه	۲
۱-۱-۱. پیشگفتار	۲
۲-۱-۱. جریان آشفته	۲
۳-۱-۱. اثرات و خصوصیات جریان آشفته	۳
۴-۱-۱. تجزیه کمیتهای فیزیکی در جریانهای آشفته	۳
۵-۱-۱. لایه مرزی	۵
۲-۱-۲. تحریک لایه مرزی	۷
۱-۲-۱. تاثیر موانع هندسی بر تحریک شدن لایه مرزی	۸
۳-۱-۲. تولید آنتروپی	۹
فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته	۱۱
۱-۲-۱. مطالعات پیشین در زمینه تحریک لایه مرزی	۱۱
۲-۲-۱. مطالعات پیشین در زمینه تولید آنتروپی ناشی از تلفات لزجت و تربولانس در اطراف موانع درون کانال	۲۴
فصل سوم: معادلات حاکم	۳۲
۱-۳-۱. معادلات حاکم بر جریان	۳۲
۲-۳-۱. مدل توربولانسی	۳۲
۳-۳-۱. الگوریتم ژنتیک	۳۳
۱-۳-۳. توابع هدف	۳۵
فصل چهارم: نتایج	۳۶
۴-۱-۱. بیان مساله	۳۶
۴-۲-۱. استقلال از شبکه	۳۷
۴-۳-۱. اعتبار سنجی	۴۰
۴-۴-۱. پروفیلهای سرعت متوسط بی بعد و انرژی جنبشی توربولانسی	۴۰
۱-۴-۴. نتایج پروفیلهای سرعت متوسط بی بعد و انرژی جنبشی توربولانسی	۴۰
۲-۴-۴. جدایش جریان	۴۵
۳-۴-۴. بهینه سازی با استفاده همزمان از آنالیز تولید آنتروپی و الگوریتم ژنتیک چند هدفه	۴۶
۱-۳-۴. بیان مساله	۴۶
۲-۳-۴. بهینه سازی مکان تک مانع مربعی در کانال خمیده	۴۷

۴-۳-۳. بهینه سازی فاصله دو مانع مربعی پشت سر هم در کانال خمیده	۴۸
۴-۴. آنتروپی کل و بازگشت ناپذیری کانال خمیده در حضور تک مانع و دو مانع مربعی پشت سر هم	۵۰
۴-۵. بازده	۵۱
۴-۶. روابط ریاضی حاصل از الگوریتم ژنتیک به منظور محاسبه توابع هدف (آنتروپی کل، برگشت ناپذیری و بازده):	۵۲
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات	۵۴
۵-۱. پیشنهادات	۵۵
منابع	۵۶

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱. نمودار سرعت لحظه‌ای اندازه گیری شده در یک نقطه مشخص از یک میدان جریان آشفته پایا.....	۴
شکل ۲-۱. جزئیات لایه مرزی.....	۶
شکل ۳-۱. تحریک لایه مرزی روی صفحه توسط تک مانع.....	۷
شکل ۴-۱. تحریک لایه مرزی روی صفحه توسط دو مانع پشت سرهم.....	۸
شکل ۱-۲. شماتیک هندسه کانال مستطیلی مانع دار.....	۱۱
شکل ۲-۲. گردابه‌های پشت جسم درون کانال در رینولدزهای مختلف.....	۱۲
شکل ۳-۲. دامنه محاسباتی برای سیلندر های پشت سرهم نزدیک به سطح آزاد.....	۱۳
شکل ۴-۲. گردابه‌های تشکیل شده پشت موانع مربعی پشت سرهم در فاصله‌ها و رینولدزهای مختلف.....	۱۳
شکل ۵-۲. مقایسه تغییرات ضریب تخلخل با فاصله ۶متر و ارتفاعهای مختلف فنس.....	۱۴
شکل ۶-۲. مقایسه تغییرات تخلخل با فاصله مختلف فنس‌ها از یکدیگر.....	۱۴
شکل ۷-۲. موانع با سطوح قوس دار و شیب دار درون تونل باد.....	۱۵
شکل ۸-۲. پروفیل‌های سرعت متوسط برای حالت شبیه سازی شده عددی و نتایج تجربی برای مانع با سقف قوس دار.....	۱۶
شکل ۹-۲. روفیل‌های سرعت متوسط برای حالت شبیه سازی شده عددی و نتایج تجربی برای مانع با سقف شیب دار.....	۱۶
شکل ۱۰-۲. شماتیک هندسه مورد نظر در پژوهش.....	۱۷
شکل ۱۱-۲. چیدمان تونل باد و موقعیت مانع.....	۱۷
شکل ۱۲-۲. مقایسه تنش‌های نرمال و تنش برشی در حضور مانع و صفحه صاف.....	۱۸
شکل ۱۳-۲. شبکه ایجاد شده اطراف مانع.....	۱۸
شکل ۱۴-۲. تغییرات تنش برشی برای هندسه‌های مختلف.....	۱۹
شکل ۱۵-۲. شماتیک هندسه شبیه سازی شده.....	۲۰
شکل ۱۶-۲. مناطق ایجاد فشار اطراف موانع مربعی با فواصل مختلف.....	۲۰
شکل ۱۷-۲. مناطق ایجاد فشار اطراف موانع دوزنقه ای بت زوایای مختلف.....	۲۱
شکل ۱۸-۲. مناطق ایجاد فشار در اطراف موانع دوزنقه‌ای با فواصل و زوایای مختلف.....	۲۱
شکل ۱۹-۲. شماتیک و شرایط مرزی هندسه‌های شبیه سازی شده.....	۲۲
شکل ۲۰-۲. خطوط جریان اطراف مانع مربعی در رینولدز ثابت در ارتفاع‌های مختلف مانع مربعی.....	۲۲
شکل ۲۱-۲. خطوط جریان اطراف مانع مربعی در رینولدز ثابت در ارتفاع‌های مختلف مانع مثلثی.....	۲۳
شکل ۲۲-۲. خطوط جریان اطراف مانع مربعی در رینولدز ثابت در ارتفاع‌های مختلف مانع نیم دایره‌ای.....	۲۳

- شکل ۲-۲۳. مجراهای شبیه سازی شده ۲۴
- شکل ۲-۲۴. پروفیل تولید انتروپی در مجرا با باله‌های نازک ۲۵
- شکل ۲-۲۵. پروفیل تولید انتروپی در مجرا با باله‌های مثلثی ۲۵
- شکل ۲-۲۶. پروفیل تولید انتروپی در مجرا با باله‌های ۷ شکل ۲۵
- شکل ۲-۲۷. شرایط مرزی و شماتیک کانال مانع دار شبیه سازی شده ۲۶
- شکل ۲-۲۸. کانتور انتروپی ناشی از تلفات ویسکوزیته ۲۶
- شکل ۲-۲۹. کانال منحنی مانع دار ۲۷
- شکل ۲-۳۰. حالت‌های مختلف ایجاد مانع بر روی دیواره کانال منحنی ۲۷
- شکل ۲-۳۱. کانتور انتروپی حجمی در حالت‌های مختلف قرار گیری موانع ۲۸
- شکل ۲-۳۲. کانال‌های شبیه سازی شده شش ضلعی و مستطیلی ۲۸
- شکل ۲-۳۳. مقایسه تولید انتروپی برای مجرای شش ضلعی، مستطیلی و دایره‌ای با شرایط قطر یکسان ۲۹
- شکل ۲-۳۴. شماتیک هندسه مورد نظر ۲۹
- شکل ۲-۳۵. پروفیل‌های نرخ تولید انتروپی در ایستگاه‌های مختلف ۳۰
- شکل ۲-۳۶. شماتیک کانال شبیه سازی شده ۳۰
- شکل ۲-۳۷. کانتور انتروپی کل در حالت‌های مختلف قرار گیری موانع ۳۰
- شکل ۳-۱. فلوچارت الگوریتم بهینه سازی ژنتیک ۳۴
- شکل ۴-۱. شماتیک هندسه شبیه سازی شده و محل قرار گیری موانع مربعی بر سطح کانال منحنی ۳۵
- شکل ۴-۲. اثر تعداد نقاط شبکه (الف) سرعت متوسط بی بعد (ب) شدت اغتشاشات بی بعد در حالت بدون مانع ۳۷
- شکل ۴-۳. اثر تعداد نقاط شبکه (الف) سرعت متوسط بی بعد (ب) شدت اغتشاشات بی بعد در حالت تک مانع ۳۷
- شکل ۴-۴. اثر تعداد نقاط شبکه (الف) سرعت متوسط بی بعد (ب) شدت اغتشاشات بی بعد در حالت دو مانع ۳۸
- شکل ۴-۵. شبکه ایجاد شده ۳۸
- شکل ۴-۶. مقایسه نتایج حاصل از مطالعه عددی و نتایج آزمایشگاهی ۳۹
- شکل ۴-۸. پروفیل سرعت متوسط در حالت تک مانع ۰ ۴۰
- شکل ۴-۹. پروفیل سرعت متوسط در حالت تک مانع ۱۰۰ ۴۰
- شکل ۴-۱۰. پروفیل سرعت متوسط در حالت تک مانع ۲۰۰ ۴۱
- شکل ۴-۱۱. پروفیل سرعت متوسط در حالت تک مانع ۳۰۰ ۴۱
- شکل ۴-۱۲. پروفیل انرژی جنبشی توربولانسی در حالت تک مانع ۰ ۴۱
- شکل ۴-۱۳. پروفیل انرژی جنبشی توربولانسی در حالت تک مانع ۱۰۰ ۴۱
- شکل ۴-۱۴. پروفیل انرژی جنبشی توربولانسی در حالت تک مانع ۲۰۰ ۴۲
- شکل ۴-۱۵. پروفیل انرژی جنبشی توربولانسی در حالت تک مانع ۳۰۰ ۴۲
- شکل ۴-۱۶. پروفیل سرعت متوسط بی بعد دو مانع در فاصله ۵۰ میلی متر ۴۲

- شکل ۴-۱۷. پروفیل سرعت متوسط بی بعد دو مانع در فاصله ۱۰۰ میلی متر ۴۲
- شکل ۴-۱۸. پروفیل سرعت متوسط بی بعد دو مانع در فاصله ۱۵۰ میلی متر ۴۳
- شکل ۴-۱۹. پروفیل سرعت متوسط بی بعد دو مانع در فاصله ۳۰۰ میلی متر ۴۳
- شکل ۴-۲۰. پروفیل انرژی جنبشی توربولانسی دو مانع در فاصله ۵۰ میلی متر ۴۳
- شکل ۴-۲۱. پروفیل انرژی جنبشی توربولانسی دو مانع در فاصله ۱۰۰ میلی متر ۴۳
- شکل ۴-۲۲. پروفیل انرژی جنبشی توربولانسی دو مانع در فاصله ۱۵۰ میلی متر ۴۴
- شکل ۴-۲۳. پروفیل انرژی جنبشی توربولانسی دو مانع در فاصله ۳۰۰ میلی متر ۴۴
- شکل ۴-۲۴. کانتور سرعت و خطوط جریان (الف) دو مانع پشت سرهم (ب) تک مانع (ج) بدون مانع ۴۴
- شکل ۴-۲۵. پروفیل سرعت متوسط بی بعد (الف) دو مانع پشت سرهم (ب) تک مانع ۰ (ج) بدون مانع ۴۵
- شکل ۴-۲۶. کانتور نرخ تولید آنتروپی محلی ناشی از تلفات لزجت در حالت تک مانع ۴۶
- شکل ۴-۲۷. کانتور نرخ تولید آنتروپی محلی ناشی از تلفات توربولانس در حالت تک مانع ۴۷
- شکل ۴-۲۸. کانتور نرخ تولید آنتروپی محلی ناشی از تلفات لزجت در حالت دو مانع پشت سرهم ۴۸
- شکل ۴-۲۹. کانتور نرخ تولید آنتروپی محلی ناشی از تلفات لزجت در حالت دو مانع پشت سرهم ۴۹
- شکل ۴-۳۰. نمودارهای دایره‌ای آنتروپی کل کمینه، بیشینه، پایه و بهینه کانال خمیده در حضور تک مانع و دو مانع ۴۹
- شکل ۴-۳۱. نمودارهای دایره‌ای بازگشت ناپذیری کمینه، بیشینه، پایه و بهینه کانال خمیده در حضور تک مانع و دو مانع ۴۹
- ۵۰
- شکل ۴-۳۲. نمودارهای دایره‌ای بازده کمینه، بیشینه، پایه و بهینه کانال خمیده در حضور تک مانع و دو مانع ۵۱

فهرست علائم

c_p	ضریب فشار استاتیک
I	برگشت ناپذیری (W)
K	انرژی جنبشی توربولانسی ($m^2 s^{-2}$)
L	فاصله بین موانع (mm)
P	فشار ($kgm^{-1}s^{-2}$)
$\bar{p}$	فشار متوسط ($kgm^{-1}s^{-2}$)
P_1, P_2	فشار استاتیک ورودی و خروجی ($kgm^{-1}s^{-2}$)
S_G	نرخ انتروپی کل (WK^{-1})
S_g	آنتروپی حجمی ($Wm^{-3}K^{-1}$)
$S_{g,T}$	آنتروپی ناشی از تلفات توربولانس ($Wm^{-3}K^{-1}$)
$S_{g,v}$	آنتروپی ناشی از تلفات لزجت ($Wm^{-3}K^{-1}$)
T_0	دمای مرجع (K)
t	زمان (s)
$\bar{u}$	مولفه‌های سرعت متوسط (ms^{-1})
u'	مولفه‌های سرعت نوسانی (ms^{-1})
U_{ref}	سرعت مرجع (ms^{-1})
$\bar{v}$	مولفه‌های سرعت متوسط (ms^{-1})
v'	مولفه‌های سرعت نوسانی (ms^{-1})
V	میانگین سرعت ورودی (ms^{-1})
w'	مولفه‌های سرعت نوسانی (ms^{-1})
$\bar{w}$	مولفه‌های سرعت متوسط (ms^{-1})
X	محل قرار گیری مانع (mm)
ε	نرخ تلفات انرژی جنبشی توربولانسی ($m^2 s^{-2}$)
η	بازده
μ	ویسکوزیته دینامیکی ($kgm^{-1}s^{-1}$)
μ_t	ویسکوزیته توربولانس ($kgm^{-1}s^{-1}$)
μ_{eff}	ویسکوزیته موثر ($kgm^{-1}s^{-1}$)
ϑ	ویسکوزیته گردابی ($m^2 s^{-1}$)

ρ	دانسیتہ (kgm^{-3})
ω	نرخ تلفات (s^{-1})
$\bar{\varphi}$	آنتروپی ناشی از لزجت (Wm^{-3})
$\overline{\varphi_{\theta}}$	آنتروپی ناشی از انتقال حرارت (Wm^{-3})



دانشگاه حکیم بن زواری

فرم چکیده‌ی پایان‌نامه‌ی دوره‌ی تحصیلات تکمیلی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

نام خانوادگی دانشجو: حقیقت‌جو	نام: حمزه	شماره دانشجویی: ۹۷۱۳۸۰۹۱۵۶
استاد راهنما: دکتر عبدالامیر بک خوشنویس	استاد مشاور: دکتر میترا یادگاری دهکردی	
دانشکده: فنی و مهندسی	رشته: مهندسی مکانیک	گرایش: تبدیل انرژی
مقطع: کارشناسی ارشد	تاریخ دفاع: ۱۴۰۱/۶/۲۹	تعداد صفحات: ۵۹
عنوان پایان‌نامه: بررسی عددی تحریک لایه مرزی توسط موانع پشت سرهم مربعی بر کانال منحنی‌الشیکل		

کلیدواژه‌ها: تحریک لایه مرزی، موانع مربعی، کانال خمیده، الگوریتم ژنتیک چند هدفه، بهینه سازی

چکیده:

در بخش اول این پژوهش به بررسی اثرات تعداد موانع (تک مانع و دو مانع مربعی پشت سرهم) بر پروفیل‌های سرعت متوسط و انرژی جنبشی توربولانس بی‌بعد و تحریک لایه مرزی در دیواره مقعر کانال خمیده با استفاده از مدل توربولانس (SST) $k - \omega$ پرداخته شده است. نتایج بیانگر آن است که نرخ رشد لایه مرزی و پهنای دنباله در حالت تک مانع نسبت به دو مانع پشت سرهم کاهش یافته است. در حالی که انرژی جنبشی توربولانس در حالت تک مانع نسبت به دو مانع پشت سرهم افزایش چشمگیری دارد. همچنین می‌توان به حذف جدایش و گردابه ناشی از جریان‌های برگشتی در حالت دو مانع پشت سرهم نسبت به حالت تک مانع در ایستگاه‌های ابتدایی اشاره کرد. در بخش دوم این پژوهش، مکان تک مانع و فاصله بین دو مانع پشت سرهم در کانال خمیده با استفاده از آنالیز انتروپی و الگوریتم ژنتیک چندهدفه به منظور جلوگیری از هدر رفت انرژی بهینه سازی شده است. همچنین تاثیر مکان تک مانع و فاصله بین دو مانع مربعی پشت سرهم در کانال خمیده بر آنتروپی محلی ناشی از تلفات لزجت و توربولانس، آنتروپی کل، بازده و بازگشت ناپذیری بررسی شده است. لازم به ذکر است که آنالیز تولید آنتروپی با استفاده از رابطه بژان برای کانال خمیده مانع دار بی سابقه بوده و تحقیق حاضر، اولین مورد به شمار می‌رود. نتایج بیانگر آن است که مقدار آنتروپی ناشی از تلفات لزجت و توربولانس در هندسه بهینه نسبت به هندسه پایه در حالت تک مانع 50% و ۵۸/۳۳٪ و در حالت دو مانع 10٪ و ۲۷/۷۷٪ کاهش یافته است. همچنین بازده کانال خمیده در حالت بهینه در حضور تک مانع ۵۵/۵۵٪ و در حضور دو مانع مربعی پشت سرهم ۶۳/۱۵٪ نسبت به حالت پایه افزایش یافته است.

فصل اول : مقدمه

۱-۱-۱. پیشگفتار

جریان آشفته نقش بسیار مهمی در صنایع پیرامون ما دارد. واقعیت این است که بیش از ۹۰٪ از جریان‌های امروزه در صنایع جزء جریان توربولانسی و آشفته محسوب می‌شوند. شناخته شده ترین نقش جریان آشفته در پیچیدگی باد در تعامل با ساختمان و سازه‌ها است [۱]. از سویی دیگر از جمله کاربردهای جریان آشفته در صنایع می‌توان به جریان درمبدل‌های حرارتی [۲-۳] سیستم‌های انرژی [۴-۵] صنایع هوا فضا [۶]، صنایع نفت و گاز [۷] و ... اشاره نمود. از دلایل اهمیت جریان آشفته در صنایع می‌توان به اینکه جریان آشفته نقش بسیار مهمی در انتقال اندازه حرکت (مومنتوم)^۲، انتقال حرارت و جرم، تلفات انرژی و اصطکاک در سیستم‌های سیالاتی دارد اشاره نمود یکی از راه‌های ایجاد جریان آشفته قرار دادن مانع در مسیر جریان می‌باشد. به همین منظور طراحی بهینه سیستم‌های سیالاتی و همچنین شناخت کمیت‌های جریان و ایجاد جریان آشفته از اهمیت بالایی برخوردار است.

۱-۱-۲. جریان آشفته

همانطور که از نام جریان مشخص است این نوع جریان رفتاری کاملاً تصادفی و بی‌سازمان دارد. در این جریان به واسطه فرآیندهای اختلاطی شدید ناشی نوسانات کمیت‌های مرتبط با مومنتوم، انرژی و غلظت جریان، به جز در نواحی بسیار نزدیک به دیواره، شکل لایه‌های جریان به راحتی قابل تشخیص از یک‌دیگر نبوده و توده‌های سیال مسیر مشخصی را طی نمی‌کنند. به زبان ساده، جریان آشفته نوعی از جریان سیال است که در آن سیال (نوسانات جریانی) و فرآیندهای اختلاطی شدید قرار می‌گیرند. این رفتار بر خلاف جریان آرام که در آن توده‌های جریان تحت لایه‌ها و مسیرهای مشخص و از پیش تعیین شده حرکت می‌باشد. در یک جریان آشفته، اندازه سرعت در هر نقطه دائماً تحت نوسانات و تغییرات، هم در اندازه و هم در راستای

¹ Turbulent Flow

² Momentum

حرکتی قرار دارد، بطوریکه تشخیص موقعیت دقیق هر ذره در هر لحظه در داخل میدان جریان مشکل بوده و تقریب زدن وضعیت ذره در لحظه بعد تقریباً غیرممکن به نظر می‌رسد [۸].

۱-۱-۳. اثرات و خصوصیات جریان آشفته

اغلب جریان‌های که در مسائل مهندسی با آنها مواجه هستیم در زمره جریان آشفته می‌باشد مگر جریان‌هایی با اعداد رینولدز موضعی خیلی کوچک همانند جریان‌های بسیار نزدیک به لبه حمله اجسام و یا لایه‌های بسیار نزدیک به سطوح جامد. اثرات آشفتگی جریان می‌توانند بسیار موثر و قابل توجه باشند. در این میان برخی اثرات آشفته شدن میدان جریان، مطلوب و مورد دلخواه مهندسين و برخی نیز نامطلوب می‌باشند. به‌طور مثال افزایش میزان اختلاط هوا و قطرات سوخت درون موتورهای احتراق داخلی که ناشی از آشفته شدن جریان اختلاطی مخلوط هوا و سوخت می‌باشد از اثرات مطلوب آشفتگی جریان محسوب می‌شود. اما افزایش ضریب (پسای اصطکاکی) جریان عبوری از روی بدنه هواپیماهای مسافربری و نیز افزایش افت فشار جریان عبوری از درون یک لوله از اثرات نامطلوب آشفتگی جریان می‌باشد [۸].

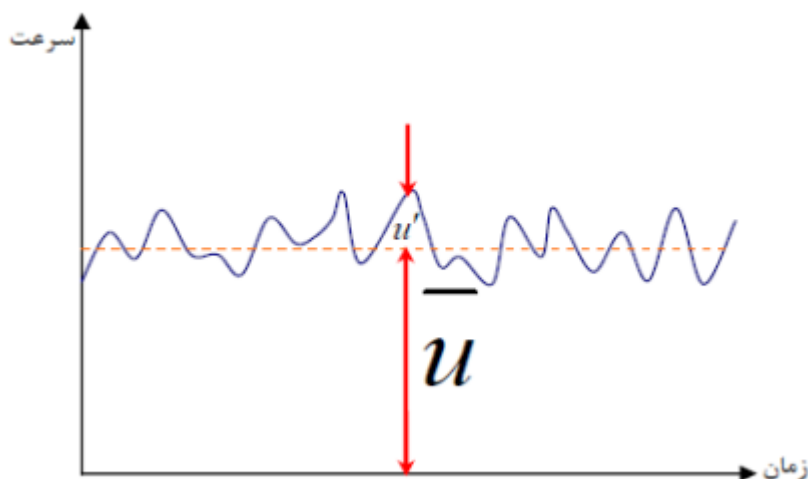
با یک بررسی جامع در مورد تعاریفی که برای جریان‌های آشفته ارائه شده است و جمع‌آوری نقطه نظرات محققین در این زمینه، می‌توان برخی از خصوصیات جریان‌های آشفته را بصورت زیر بیان کرد [۸].

۱. بی‌نظمی مکانی و زمانی
۲. طیف پیوسته مکانی و زمانی
۳. اعداد رینولدز (معمولاً) بالا
۴. اختلاط، انتقال حرارت و ضریب پسای پیوسته‌ای افزایش یافته
۵. سه بعدی بودن
۶. حرکات غالب (چرخشی) و مملو بودن از (ادی‌های) آشفتگی با ابعاد و اندازه‌های بسیار متنوع و گسترده
۷. تناوبی بودن

۱-۱-۴. تجزیه کمیت‌های فیزیکی در جریان‌های آشفته

می‌دانیم که آشفتگی متشکل از یک سری نوسان‌های اتفاقی در متغیرهای مختلف فیزیکی می‌باشد. از طرفی استفاده از روش‌های آماری نیز زمانی ضرورت می‌یابد که بدانیم کمیت‌ها در یک جریان آشفته رفتاری کاملاً غیر قابل پیش‌بینی دارند، یعنی مثلاً دانستن سرعت لحظه‌ای در یک لحظه برای تعیین اندازه سرعت لحظه‌ای

در لحظه بعد کافی نمی‌باشد. همین طبیعت غیرقابل پیش بینی آشفتگی، ما را بر آن می‌دارد که از ابزارهای آماری در جریان‌های آشفته، ابتدا یک جریان آشفته پایای عبوری از درون یک لوله در نظر بگیریم. چنانچه یک نقطه خاص از میدان جریان درون لوله مذکور را مد نظر قرار داده و سرعت جریان عبوری از آن نقطه را به صورت تجربی و بر حسب زمان اندازه گیری و ثبت نماییم، نموداری شبیه به نمودار نشان داده شده در شکل (۱-۱) به دست خواهد آمد.



شکل (۱-۱): نمودار سرعت لحظه‌ای اندازه گیری شده در یک نقطه مشخص از یک میدان جریان آشفته پایا [۸].

با توجه به شکل (۱-۱) مشاهده می‌شود که مقادیر سرعت حول یک مقدار مشخص نوسان می‌کند. متوسط زمانی اندازه سرعت به صورت رابطه (۱-۱) بیان می‌گردد:

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt \quad (1-1)$$

که در آن T زمانی است که به مراتب بزرگتر از طولانی‌ترین زمان نوسان‌های قبل تصور در جریان آشفته مورد نظر می‌باشد. همانطور که در شکل (۱-۱) مشاهده می‌گردد، در هر زمان دلخواه میدان سرعت لحظه‌ای را می‌توان به صورت جمع دو مولفه متمایز از یک‌دیگر یعنی (مولفه متوسط زمانی یا مولفه متوسط) و (مولفه نوسانی) بیان نمود:

$$u = \bar{u} + u' \quad (2-1)$$

1. Bezaatpour, J., et al., Towards optimal design of photovoltaic/thermal facades: Module-based assessment of thermo-electrical performance, exergy efficiency and wind loads. *Applied Energy*, 2022. 325: p. 119785.
2. Bezaatpour, M. and H. Rostamzadeh, Heat transfer enhancement of a fin-and-tube compact heat exchanger by employing magnetite ferrofluid flow and an external magnetic field. *Applied Thermal Engineering*, 2020. 164: p. 114462.
3. Bezaatpour, M., et al., Magnetic-induced nanoparticles and rotary tubes for energetic and exergetic performance improvement of compact heat exchangers. *Powder Technology*, 2021. 377: p. 396-414.
4. Cao, Y., et al., Microporous foam, magnetic nanoparticles, and revolutionary tubes: Sophisticated combination of three solar energy materials in flat plate solar collectors. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2022. 235: p. 111464.
5. Helmi, N., et al., Investigation of energy storage in parabolic rotary trough solar collectors using various porous fins with magnetic nanoparticles. *Energy for Sustainable Development*, 2022. 70: p. 194-204.
6. Yadegari, M., An optimal design for S-shaped air intake diffusers using simultaneous entropy generation analysis and multi-objective genetic algorithm. *The European Physical Journal Plus*, 2021. 136(10): p. 1-25.
7. Yadegari, M. and A. Bak Khoshnevis, A numerical study over the effect of curvature and adverse pressure gradient on development of flow inside gas transmission pipelines. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2020. 42(8): p. 1-15.
۸. صنیعی نژاد مهدی. مبانی جریان‌های آشفته و مدل سازی آن‌ها. تهران: دانش نگار. ۱۳۸۸.
۹. رابرت دبلیو. فاکس الن تی. مک دونالد. مقدمه‌ای بر مکانیک سیالات. تهران: نشر کتاب دانشگاهی: ۱۳۷۹.
۱۰. بنی هاشمی سید هادی. اندازه گیری تحریک لایه مرزی در تونل باد. پایان نامه. مشهد. دانشگاه فردوسی: ۱۳۸۷.
11. E. Lakzian and S. Shaabani, Analytical investigation of coalescence effects on the exergy loss in a spontaneously condensing wet-steam flow, *International Journal of Exergy*, 2015. vol. 16, no. 4, pp. 383-403.
12. E. Lakzian and A. Masjedi, Slip effects on the exergy loss due to irreversible heat transfer in a condensing flow, *International Journal of Exergy*, 2014. vol. 14, no. 1, pp. 22-37.
13. Molochnikov V, Mazo A, Kalinin E, Malyukov A, Okhotnikov D, Dushina O. Formation and turbulent breakdown of large-scale vortical structures behind an obstacle in a channel at moderate Reynolds numbers. *Physics of Fluids*. 2019;31(10):104104.
14. Davis R, Moore E. A numerical study of vortex shedding from rectangles. *Journal of Fluid Mechanics*. 1982;116:475-506.
15. Anke W, Ulrich R, Siegfried W. Humps/steps influence on stability characteristics of twodimensional laminar boundar layer. *AAA Journal*. 2003;41(2).

16. Yetik Ö, Mahir N. Flow structure around two tandem square cylinders close to a free surface. *Ocean Engineering*. 2020;214:107740.
17. Bitog J, Lee I-B, Shin M-H, Hong S-W, Hwang H-S, Seo I-H, et al. Numerical simulation of an array of fences in Saemangeum reclaimed land. *Atmospheric Environment*. 2009;43(30):4612-21.
18. Takahashi T, Ohtsu T, Yassin M, Kato S, Murakami S. Turbulence characteristics of wind over a hill with a rough surface. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2002;90(12-15):1697-706.
19. Ntinis G, Zhang G, Fragos V, Bochtis D, Nikita-Martzopoulou C. Airflow patterns around obstacles with arched and pitched roofs: Wind tunnel measurements and direct simulation. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*. 2014;43:216-29.
20. Venas B, Saetran LR, editors. Space-time correlations in separated flow behind a surface mounted obstacle. *First Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena*; 1999: Begel House Inc.
21. Wang J-j, Lan S-l, Chen G. Experimental study on the turbulent boundary layer flow over riblets surface. *Fluid dynamics research*. 2000;27(4):217-29.
22. Lim F, Lewkowicz A. Investigation by laser Doppler anemometry of the turbulent flow around cylindrical obstacles on a rough surface. *International journal of heat and fluid flow*. 1986;7(2):102-8.
23. Gibson M, Verriopoulos C, Vlachos N. Turbulent boundary layer on a mildly curved convex surface. *Experiments in Fluids*. 1984;2(1):17-24.
24. Benson Augusthy BG, Kaamil C, Kumar MA, Arjun K. Variation of Fluid Shear Stress on an Obstacle in a Mini-Channel Laminar Flow.
25. Durst F, Becker S. Boundary layer transition induced by a roughness element. Internal report Universitat Erlangen. Germany, INEEL LDRD Program. 1998.
26. Saha AK, Muralidhar K, Biswas G. Vortex structures and kinetic energy budget in two-dimensional flow past a square cylinder. *Computers & fluids*. 2000;29(6):669-94.
27. Yin G, Andersen M, Ong MC. Numerical simulations of flow around two tandem wall-mounted structures at high Reynolds numbers. *Applied Ocean Research*. 2020;99:102124.
28. Gao Y, Chow WK. Numerical studies on air flow around a cube. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2005;93(2):115-35.
29. Tauqeer MA, Li Z, Ong MC. Numerical simulation of flow around different wall-mounted structures. *Ships and Offshore Structures*. 2017;12(8):1109-16.
30. Yadegari M, Bak Khoshnevis A. Investigation of entropy generation, efficiency, static and ideal pressure recovery coefficient in curved annular diffusers. *The European Physical Journal Plus*. 2021;136(1):1-19.
31. Yadegari M, Bak Khoshnevis A. Numerical and Experimental Study of Characteristics of the Wake Produced Behind an Elliptic Cylinder with Trip Wires. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*. 2021;45(1):265-85.
32. Yadegari M, Bak Khoshnevis A. A numerical study over the effect of curvature and adverse pressure gradient on development of flow inside gas transmission pipelines. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2020;42(8):1-15.
33. Yadegari M, Bak Khoshnevis A. A numerical study over the effect of curvature and adverse pressure gradient on development of flow inside gas transmission pipelines. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2020;42(8):1-15.
34. Yadegari M, Khoshnevis AB. Entropy generation analysis of turbulent boundary layer flow in different curved diffusers in air-conditioning systems. *The European Physical Journal Plus*. 2020;135(6):534.

35. Yadegari M, Khoshnevis AB. Numerical study of the effects of adverse pressure gradient parameter, turning angle and curvature ratio on turbulent flow in 3D turning curved rectangular diffusers using entropy generation analysis. *The European Physical Journal Plus*. 2020;135(7):548.
36. Mahmud, S. and R.A. Fraser, The second law analysis in fundamental convective heat transfer problems. *International Journal of Thermal Sciences*, 2003 : (۷)۴۷ .p. 177-186.
37. Javadi, P., S. Rashidi, and J. Esfahani, Effects of rib shapes on the entropy generation in a ribbed duct. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 2018. 32(3): p. 691-701.
38. Dağtekin, İ., H.F. Öztop, and A.Z. Şahin, An analysis of entropy generation through a circular duct with different shaped longitudinal fins for laminar flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2005. 48(1): p. 171-181.
39. Pourmahmoud, N., H. Soltanipour, and I. Mirzaee, The effects of longitudinal ribs on entropy generation for laminar forced convection in a microchannel. *Thermal Science*, 2016. 20(6): p. 1963-1972.
40. Xia, G., Y. Zhai, and Z. Cui, Characteristics of entropy generation and heat transfer in a microchannel with fan-shaped reentrant cavities and internal ribs. *Science China Technological Sciences*, 2013. 56(7): p. 1629-1635.
41. Shamsabadi, H., S. Rashidi, and J.A. Esfahani, Entropy generation analysis for nanofluid flow inside a duct equipped with porous baffles. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2019. 135(2): p. 1009-1019.
42. Kucuk, H., Numerical analysis of entropy generation in concentric curved annular ducts. *Journal of mechanical science and technology*, 2010. 24(9): p. 1927-1937.
43. Hung, Y.-M., Viscous dissipation effect on entropy generation for non-Newtonian fluids in microchannels. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2008. 35(9): p. 1125-1129.
44. Sheikhzadeh, G., et al., Analytical study of parameters affecting entropy generation of nanofluid turbulent flow in channel and micro-channel. *Thermal Science*, 2016. 20(6): p. 2037-2050.
45. Ko, T.-H., A numerical study on entropy generation and optimization for laminar forced convection in a rectangular curved duct with longitudinal ribs. *International Journal of Thermal Sciences*, 2006. 45(11): p. 1113-1125.
46. Liu, Y., Y. Jian, and W. Tan, Entropy generation of electromagnetohydrodynamic (EMHD) flow in a curved rectangular microchannel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2018 : ۱۲۷ .p. 901-913.
47. Jarungthammachote, S., Entropy generation analysis for fully developed laminar convection in hexagonal duct subjected to constant heat flux. *Energy*, 2010. 35(12): p. 5374-5379.
48. Sahin, A.Z. and R. Ben-Mansour, Entropy generation in laminar fluid flow through a circular pipe. *Entropy*, 2003. 5(5): p. 404-416.
49. Vatanparast, M.A., et al., Numerical investigation of total entropy generation in a rectangular channel with staggered semi-porous fins. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 2020. 111: p. 104446.
50. A. Ebrahimi-Fizik, E. Lakzian, A. Hashemian, Entropy generation analysis of wet-steam flow with variation of expansion rate using nurbs-based meshing technique, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 139 (2019) 399 – 411.
51. Versteeg HK, Malalasekera W. An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method: Pearson education; 2007.
52. Davidson L. Fluid mechanics, turbulent flow and turbulence modeling. Citeseer; 2015.

53. Kock, F. and H. Herwig, Local entropy production in turbulent shear flows: a high-Reynolds number model with wall functions. *International journal of heat and mass transfer*, 2004. 47(10-11): p. 2205-2215.
54. Sanmiguel Vila, C., et al., Adverse-pressure-gradient effects on turbulent boundary layers: statistics and flow-field organization. *Flow, turbulence and combustion*, 2017. 99(3): p. 589-612.



دانشگاه حکیم سبزواری

Hakim Sabzevari University

An Outline of M.Sc Thesis

Surname: Hamzeh	Name: Haghighatjoo	Student no: 9713809156
Supervisor: Dr. Abdolamir Bak Khoshnevis	Advisor: Dr. Mitra Yadegari Dehkordi	
Faculty: Engineering	Department: Mechanical Engeneering	
Program: Master of Science	Field of study: Energy Conversion	

Numerical investigation of the excitation of the boundary layer by tandem obstacles on a curved channel

Keywords: Excitation Boundary Layer, Square Obstacles, Curved Channel, Multi-objective Genetic Algorithm, Optimization

Abstract:

In the first part of this research, the effect of the number of obstacles (one obstacle and two tandem square obstacles) on non-dimensional mean velocity and turbulence kinetic energy and boundary layer excitation is investigated on a convex wall of a curved channel in a turbulent flow regime using the $k-\omega$ (SST) model. The results show that the growth rate of the boundary layer and the width of the wake in the single-barrier case decreases compared to the double-barrier case. However, the turbulence kinetic energy in the single-barrier case is significantly higher than in the double-barrier case. It is also possible to eliminate the separation and vortex caused by the reverse flow in the double-barrier case in comparison with the single-barrier case in the initial stations. In the second part of this research, the location of the single obstacle and the distance between the obstacles has been optimized by entropy generation analysis and multi-objective genetic algorithm in order to prevent energy loss. Moreover, the effects of obstacle location and distance between two tandem square obstacles on local and overall entropy caused by viscous and turbulence dissipation, total entropy, efficiency, and irreversibility in a curved channel are investigated. The novelty of the study is the analysis of entropy generation using the Bejan relation for the curved obstacle channel. The results indicate that the entropy generated by viscous and turbulence dissipation decreases by 50% and 58.33% in the optimized single-obstacle channel and by 10% and 27.77% in the optimized double-obstacle channel compared to the base geometries, respectively. Also, the efficiency of the curved channel in the optimal state improves by 55.55% in the presence of a single obstacle and by 63.15% in the presence of two tandem square obstacles compared to the base states.



دانشگاه حکیم سبزواری

Hakim Sabzevari University

Faculty of
Mechanical Engineering Department
For MS.c degree
Mechanical Engineering – Energy Conversion

Numerical investigation of the excitation of the boundary layer by tandem obstacles on a curved channel

Supervisor:

Dr. Amir bak Khoshnevis

Advisor:

Dr. Mitra Yadegari Dehkordi

By:

Hamzeh Haghighatjoo

August 2022