



دانشگاه شاهرود

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

تحلیل عددی جریان سیال و انتقال حرارت مغشوش در کانال‌های ریب دار سه بعدی

استاد راهنما:

دکتر علیرضا شاطری نجف آبادی

استاد مشاور:

دکتر بهزاد قاسمی

پژوهشگر:

مهدی احمدی

۵ مرداد ماه ۱۳۸۹

با سپاس از زحمات بی دریغ پدر و مادر عزیزم که هر چه دارم از دعای خیرشان است و همچنین راهنمایی های استاد عزیزم جناب آقای دکترشاطری مدیریت محترم گروه مهندسی مکانیک دانشکده فنی و مهندسی که در انجام این پروژه نهایت کمک و همفکری را به اینجانب عرضه داشتند. از خداوند متعال برای ایشان سلامت و طول عمر با عزت خواستارم.

مهدی احمدی

تابستان ۱۳۸۹

کلیه حقوق مادی مرتبت بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نو آوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه شهرکرد است.

تقدیم به همسر فداکارم، که همواره بهترین مشوقم بوده است.

مهدی احمدی

تابستان ۱۳۸۹

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳.....	فهرست شکل‌ها.....
۷.....	فهرست جدول‌ها.....
۸.....	فهرست نمادها.....
10.....	فصل اول-مقدمه و بیان مسئله.....
10.....	۱-۱- مقدمه.....
11.....	۱-۲- راه تشخیص آرام یا آشفته بودن یک جریان.....
12.....	۱-۳- شرط آشفتگی جریان جابجایی اجباری.....
13.....	۱-۴- اهمیت و کاربرد جابجایی اجباری.....
14.....	۱-۵- مروری بر کارهای دیگران.....
15.....	۱-۶- کاربرد پروژه حاضر.....
16.....	۱-۷- جایگاه پروژه حاضر.....
16.....	۱-۸- بیان مسئله.....
17.....	۱-۹- اهداف اصلی طرح.....
18.....	۱-۱۰- ارائه فرضیات.....
19.....	فصل دوم- معادلات حاکم بر جریان و انتقال حرارت آشفته.....
19.....	۲-۱- معادلات حاکم وابسته به زمان.....
20.....	۲-۲- معادلات حاکم متوسط زمانی.....
21.....	۲-۳- معادله تنش رینولدز.....
22.....	۲-۴- مدل‌های توربولانس.....
23.....	۲-۵- مدل‌های توربولانس عدد رینولدز بالا.....
23.....	۲-۶- مدل لزجت موثر (Effective Viscosity Model)، $\epsilon - k$ استاندارد (EVM).....
24.....	۲-۷- مدل‌های توربولانس عدد رینولدز پایین.....
27.....	۲-۸- جمله تصحیح مقیاس طول Yap.....
27.....	۲-۹- نسخه جدید جمله تصحیح مقیاس طول.....
28.....	۲-۱۰- مدل لزجت گردابه ای غیر خطی.....
29.....	۲-۱۱- مدل‌سازی C_{μ}
30.....	۲-۱۲- تصحیح ضریب C_{μ} در معادله NYP.....
31.....	فصل سوم- روش‌های عددی حل معادلات حاکم بر جریان.....
31.....	۳-۱- معادلات انتقال حاکم بنیادی.....
34.....	۳-۲- آرایش شبکه.....
35.....	۳-۳- روش‌های گسسته سازی.....
40.....	۳-۴- میدان فشار.....
43.....	۳-۵- شرایط مرزی.....

46.....	فصل چهارم- نتایج.....
46.....	۱-۴ بررسی اعتبار کد عددی.....
52.....	۲-۴ توصیف هندسه جریان.....
55.....	۳-۴ مروری بر مدل های توربولانس مورد استفاده.....
55.....	۴-۴ شبکه‌های محاسباتی.....
59.....	۵-۴ ارائه نتایج و بحث در مورد آنها.....
87.....	۶-۴ بررسی تاثیرات عدد رینولدز بر عدد ناسلت.....
89.....	۷-۴ نتیجه گیری و ملاحظات پایانی.....
89.....	۸-۴ پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده.....
91.....	منابع.....
94.....	Abstract.....

فهرست اشکال

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
شکل ۱-۱ تبدیل جریان لایه‌ای به جریان آشفته و افزایش اغتشاش جریان در پائین دست آن.....12	
شکل ۱-۲- (الف) جریان آرام درون لوله و شکل (ب) جریان آشفته درون لوله..... 12	
شکل ۱-۳ ساختار میکروسکوپی پوست کوسه و نقش آن در به تاخیر انداختن رسیدن به حالت آشفته.....13	
شکل ۱-۴ کانال سه بعدی با ریب عمود بر جریان بر روی وجه پایین و بالا در حالت متقارن.....17	
شکل ۱-۵ کانال سه بعدی با ریب عمود بر جریان بر روی وجه پایین و بالا در حالت یک در میان.....17	
شکل ۱-۳ آرایش متمرکز مولفه های سرعت و فشار بر روی یک شبکه حجم - محدود.....35	
شکل ۲-۳ حجم کنترل سه بعدی و نماد گذاری مورد استفاده.....36	
شکل ۳-۳ طرح کوئیک در سطح شرقی حجم کنترل.....38	
شکل ۳-۴ محدودسازی طرح کوئیک.....39	
شکل ۳-۵ شرط مرز تقارن.....44	
شکل ۱-۴ شبکه ۱۹×۹۰ مورد استفاده در بررسی جریان بین دو صفحه موازی (الف) نمای کامل، (ب) نمای بزرگ شده گوشه پایین.....47	
شکل ۲-۴ بردارهای سرعت در جریان کاملاً توسعه یافته بین دو صفحه موازی.....48	
شکل ۳-۴ مقایسه پروفیل سرعت بدست آمده از مدل $k - \epsilon$ خطی بین دو صفحه موازی.....48	
شکل ۴-۴ مقایسه پروفیل سرعت بدست آمده از مدل $k - \epsilon$ غیر خطی بین دو صفحه موازی.....49	
شکل ۵-۴ مقایسه انرژی جنبشی اغتشاش بدست آمده از مدل $k - \epsilon$ خطی بین دو صفحه موازی.....49	
شکل ۶-۴ مقایسه انرژی جنبشی اغتشاش بدست آمده از مدل $k - \epsilon$ غیر خطی بین دو صفحه موازی.....50	
شکل ۷-۴ مقایسه تنش های عمودی بدست آمده از مدل $k - \epsilon$ غیر خطی بین دو صفحه موازی با نتایج گرفت و همکاران.....50	
شکل ۸-۴ مقایسه تنش های عمودی بدست آمده از مدل $k - \epsilon$ خطی و غیر خطی بین دو صفحه موازی با نتایج حل مستقیم کیم و همکاران.....51	
شکل ۹-۴ مقایسه تنش برشی بدست آمده از مدل $k - \epsilon$ خطی بین دو صفحه موازی.....51	
شکل ۱۰-۴ مقایسه تنش برشی بدست آمده از مدل $k - \epsilon$ غیر خطی بین دو صفحه موازی.....52	
شکل ۱۱-۴ کانال سه بعدی با ریب های عمودی و آرایش متقارن (الف) نمای سه بعدی و (ب) برش طولی.....53	
شکل ۱۲-۴ کانال سه بعدی با ریب های عمودی و آرایش یک در میان (الف) نمای سه بعدی و (ب) برش طولی.....54	
شکل ۱۳-۴ کانال سه بعدی با ریب های عمودی و آرایش متقارن شبکه محاسباتی با $102 \times 76 \times 40$ گره.....56	
شکل ۱۴-۴ کانال سه بعدی با ریب های عمودی و آرایش یک در میان شبکه محاسباتی با $102 \times 76 \times 40$ گره.....56	
شکل ۱۵-۴ توزیع عدد ناسلت پیش بینی شده توسط مدل $k - \epsilon$ خطی با جمله YAP بر روی خط مرکزی یک کانال با ریب های متقارن.....57	

- شکل ۴-۱۶ توزیع عدد ناسلت پیش بینی شده توسط مدل $K - \epsilon$ غیر خطی با جمله YAP بر روی خط مرکزی یک کانال با ریب های متقارن.....58
- شکل ۴-۱۷ توزیع عدد ناسلت پیش بینی شده توسط مدل $K - \epsilon$ خطی با جمله YAP بر روی خط مرکزی یک کانال با ریب های یک در میان.....58
- شکل ۴-۱۸ توزیع عدد ناسلت پیش بینی شده توسط مدل $K - \epsilon$ غیر خطی با جمله YAP بر روی خط مرکزی یک کانال با ریب های یک در میان.....59
- شکل ۴-۱۹ توزیع فشار در صفحه تقارن کانال با ریب های متقارن با استفاده از مدل $K - \epsilon$ ناحیه ای.....60
- شکل ۴-۲۰ توزیع فشار در صفحه تقارن کانال با ریب های یک در میان با استفاده از مدل $K - \epsilon$ ناحیه ای.....60
- شکل ۴-۲۱ جریان های ثانویه در فاصله بین دو ریب با آرایش متقارن با استفاده از مدل $K - \epsilon$ ناحیه ای.....61
- شکل ۴-۲۲ جریان های ثانویه در فاصله بین دو ریب با آرایش یکدرمیانبا استفاده از مدل $K - \epsilon$ ناحیه ای.....61
- شکل ۴-۲۳ پروفیل سرعت محوری پیش بینی شده توسط مدل $K - \epsilon$ ناحیه ای برای جریان هوا در یک کانال با ریب های متقارن.....62
- شکل ۴-۲۴ پروفیل سرعت محوری پیش بینی شده توسط مدل $K - \epsilon$ ناحیه ای برای جریان هوا در یک کانال با ریب های یک در میان.....63
- شکل ۴-۲۵ پروفیل های شدت توربولانس پیش بینی شده توسط مدل $k - \epsilon$ ناحیه ای در یک کانال با ریب های متقارن.....63
- شکل ۴-۲۶ پروفیل های شدت و تنش برشی توربولانس پیش بینی شده توسط مدل $k - \epsilon$ ناحیه ای برای جریان هوا در یک کانال با ریب های یک در میان.....64
- شکل ۴-۲۷ توزیع عدد ناسلت پیش بینی شده بر روی خط مرکزی در یک کانال با ریب های متقارن.....65
- شکل ۴-۲۸ توزیع عدد ناسلت متوسط پیش بینی شده در یک کانال با ریب های متقارن مدل $K - \epsilon$ ناحیه ای.....66
- شکل ۴-۲۹ توزیع عدد ناسلت پیش بینی شده بر روی خط مرکزی در یک کانال با ریب های یک در میان.....66
- شکل ۴-۳۰ توزیع عدد ناسلت متوسط پیش بینی شده در یک کانال با ریب های یک در میان.....67
- شکل ۴-۳۱ بردارهای سرعت در صفحه تقارن کانال با ریب های یک در میان با استفاده از مدل $K - \epsilon$ خطی و جمله اصلاح Yap.....68
- شکل ۴-۳۲ بردارهای سرعت در صفحه تقارن کانال با ریب های یک در میان با استفاده از مدل $K - \epsilon$ خطی و جمله اصلاح NYP.....68
- شکل ۴-۳۳ بردارهای سرعت در صفحه تقارن کانال با ریب های متقارن با استفاده از مدل $K - \epsilon$ خطی و جمله اصلاح Yap.....69
- شکل ۴-۳۴ بردارهای سرعت در صفحه تقارن کانال با ریب های متقارن با استفاده از مدل $K - \epsilon$ خطی و جمله اصلاح NYP.....69
- شکل ۴-۳۵ پروفیل سرعت محوری پیش بینی شده توسط مدل $K - \epsilon$ خطی در یک کانال با ریب های متقارن.....70
- شکل ۴-۳۶ پروفیل سرعت محوری پیش بینی شده توسط مدل $K - \epsilon$ خطی در یک کانال با ریب های یک در میان.....70
- شکل ۴-۳۷ پروفیل های شدت توربولانس پیش بینی شده توسط مدل $K - \epsilon$ خطی در یک کانال با ریب های متقارن.....71
- شکل ۴-۳۸ پروفیل های شدت توربولانس پیش بینی شده توسط مدل $K - \epsilon$ خطی در یک کانال با ریب های متقارن.....72
- شکل ۴-۳۹ توزیع عدد ناسلت پیش بینی شده بر روی خط مرکزی در یک کانال با ریب های متقارن.....73

- شکل ۴-۴۰ توزیع عدد ناسلت متوسط پیش بینی شده در یک کانال با ریب های متقارن.....73
- شکل ۴-۴۱ توزیع عدد ناسلت پیش بینی شده بر روی خط مرکزی در یک کانال با ریب های یک در میان.....74
- شکل ۴-۴۲ توزیع عدد ناسلت متوسط پیش بینی شده در یک کانال با ریب های یک در میان.....74
- شکل ۴-۴۳ بردارهای سرعت در صفحه تقارن کانال با ریب های متقارن با استفاده از مدل $K - \varepsilon$ غیرخطی و جمله اصلاح Yap.....75
- شکل ۴-۴۴ بردارهای سرعت در صفحه تقارن کانال با ریب های متقارن با استفاده از مدل $K - \varepsilon$ غیرخطی و جمله اصلاح NYP.....76
- شکل ۴-۴۵ بردارهای سرعت در صفحه تقارن کانال با ریب های یک در میان با استفاده از مدل $K - \varepsilon$ غیرخطی و جمله اصلاح Yap.....76
- شکل ۴-۴۶ بردارهای سرعت در صفحه تقارن کانال با ریب های یک در میان با استفاده از مدل $K - \varepsilon$ غیرخطی و جمله اصلاح NYP.....76
- شکل ۴-۴۷ پروفیل سرعت محوری پیش بینی شده توسط --مدل $K - \varepsilon$ خطی و جمله اصلاح Yap - مدل $K - \varepsilon$ غیرخطی و جمله اصلاح Yap.....77
- شکل ۴-۴۸ پروفیل سرعت محوری پیش بینی شده توسط --مدل $K - \varepsilon$ خطی و جمله اصلاح NYP - مدل $K - \varepsilon$ غیرخطی و جمله اصلاح NYP.....77
- شکل ۴-۴۹ پروفیل سرعت محوری پیش بینی شده توسط --مدل $K - \varepsilon$ خطی و جمله اصلاح Yap - مدل $K - \varepsilon$ غیرخطی و جمله اصلاح Yap.....78
- شکل ۴-۵۰ پروفیل سرعت محوری پیش بینی شده توسط --مدل $K - \varepsilon$ خطی و جمله اصلاح NYP - مدل $K - \varepsilon$ غیرخطی و جمله اصلاح NYP ○ داده های آزمایشگاهی ایاکوویس و همکاران.....78
- شکل ۴-۵۱ پروفیل های شدت توربولانس پیش بینی شده توسط مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی در یک کانال با ریب های متقارن و جمله اصلاح Yap.....79
- شکل ۴-۵۲ پروفیل های شدت توربولانس پیش بینی شده توسط --مدل $K - \varepsilon$ خطی و جمله اصلاح NYP - مدل $K - \varepsilon$ غیرخطی و جمله اصلاح NYP.....80
- شکل ۴-۵۳ پروفیل های شدت توربولانس پیش بینی شده توسط مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی در یک کانال با ریب های یک در میان و جمله اصلاح Yap.....81
- شکل ۴-۵۴ پروفیل های شدت توربولانس پیش بینی شده توسط --مدل $K - \varepsilon$ خطی و جمله اصلاح NYP - مدل $K - \varepsilon$ غیرخطی و جمله اصلاح NYP ○ داده های آزمایشگاهی ایاکوویس و همکاران.....81
- شکل ۴-۵۵ توزیع عدد ناسلت پیش بینی شده بر روی خط مرکزی در یک کانال با ریب های متقارن. ---مدل.....82
- شکل ۴-۵۶ توزیع عدد ناسلت متوسط پیش بینی شده در یک کانال با ریب های متقارن. ---مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح YAP - مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح NYP ○ نتایج آزمایشگاهی باون ویان با جمله اصلاح YAP - مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح NYP.....83
- شکل ۴-۵۷ توزیع عدد ناسلت پیش بینی شده بر روی خط مرکزی در یک کانال با ریب های یک در میان. ---مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح YAP - مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح NYP ○ نتایج آزمایشگاهی آباکوویس و همکاران.....83
- شکل ۴-۵۸ توزیع عدد ناسلت متوسط پیش بینی شده در یک کانال با ریب های یک در میان. ---مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح YAP - مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح NYP ○ نتایج آزمایشگاهی آباکوویس و همکاران.....84
- شکل ۴-۵۹ توزیع عدد ناسلت پیش بینی شده بر روی خط مرکزی در یک کانال با ریب های یک در میان.

--- مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح Yap - مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح NYP -.-. مدل $K - \varepsilon$ خطی با جمله اصلاح Yap مدل $K - \varepsilon$ خطی با جمله اصلاح NYP ○ نتایج آزمایشگاهی آباکوویدس و همکاران.....86

شکل ۴-۶۰ توزیع عدد ناسلت متوسط پیش بینی شده در یک کانل با ریب های یک در میان.--- مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح Yap - مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح NYP -.-. مدل $K - \varepsilon$ خطی با جمله اصلاح Yap مدل $K - \varepsilon$ خطی با جمله اصلاح NYP ○ نتایج آزمایشگاهی آباکوویدس و همکاران.....86

شکل ۴-۶۱ توزیع عدد ناسلت متوسط پیش بینی شده در یک کانل صاف در اعداد مختلف رینولدز با استفاده از مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح NYP87

شکل ۴-۶۲ توزیع عدد ناسلت متوسط پیش بینی شده در یک کانل با ریب های متقارن در اعداد مختلف رینولدز و ابعاد متفاوت با استفاده از مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح NYP88

شکل ۴-۶۳ توزیع عدد ناسلت متوسط پیش بینی شده بر روی خط مرکزی در یک کانل با ریب های یک در میان با استفاده از مدل $K - \varepsilon$ غیر خطی با جمله اصلاح NYP.....88

فهرست جداول

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
24.....	جدول ۱-۲ ثابت های تجربی مدل $\epsilon - k$ رینولدز بالا.....
29.....	جدول ۲-۲ مقدار ثابت های رابطه تنش - کرنش غیر خطی.....
38.....	جدول ۱-۳ مقادیر ضرایب طرح تفاضل بادسو.....
41.....	جدول ۲-۳ ضرایب جملات گرادیان فشار.....
55.....	جدول ۱-۴ شرایط کاری و داده های تجربی برای کانال های سه بعدی مورد بررسی در تحقیق حاضر.....
	جدول ۲-۴ مدل های توربولانس و انتقال حرارت مورد استفاده جهت محاسبه جریان و انتقال حرارت در داخل کانال -
55.....	های ریبدار سه بعدی.....

فهرست نمادها

11	سرعت جریان آزاد.....	U_{∞}
11	چگالی سیال	ρ
11	طول مقیاس هندسی	L
11	ویسکوزیته جریان	μ
11	عدد رینولدز	Re
20	لزجت سینماتیک.....	ν
20	عدد پرانتل سیال	Pr
23	عدد پرانتل مغشوش تجربی.....	σ_{θ}
23	لزجت گردابه‌ای	ν_t
24	انرژی جنبشی توربولانس	K
24	نرخ اتلاف انرژی جنبشی توربولانس	ε
24	طول اختلاط	l_m
24	فاصله بی بعد دیواره	y^+
24	فاصله از دیواره	y
24	سرعت اصطکاکی موضعی	u_t
26	تابع میرا کننده رینولدز پایین	f_{μ}
26	ترم چشمه	S_{ε}
28	برآیند گرادیان مقیاس طول مغشوش	D_t
28	ضریب تصحیح	F
34	لزجت موثر	μ_e
35	ضریب پخش موثر	Γ_{Φ}
40	ضریب وزنی	γ
41	فشار تقریبی	P^*
41	سرعت در جهت X.....	U
41	سرعت در جهت Y.....	V
41	سرعت در جهت Z.....	W
41	متغیر تصحیح فشار	P'
45	شار حرارتی دیواره	q_w
45	سطح دیواره حجم کنترل	ΔA_w
45	ظرفیت گرمایی ویژه سیال	c_{pr}
45	جمله تصحیح فشار یکنواخت	ppd
45	ضریب تخفیف	U_{rfp}
45	دبی جرمی	\dot{m}

فصل اول

مقدمه و بیان مساله

۱-۱ مقدمه

به طور کلی حرارت یا گرما در اثر اختلاف دما می‌تواند منتقل شود و همواره از سمت گرم‌تر به سمت سردتر حرکت می‌کند. این انتقال حرارت به سه روش هدایت، جابجائی و تشعشع انجام می‌گیرد. انتقال حرارت هدایتی وقتی خواهیم داشت که در یک محیط ساکن گرادیان دما وجود داشته باشد. جابجائی هنگام حرکت یک سیال از مجاور یک سطح با دمای متفاوت مطرح می‌شود و بالاخره کلیه سطوح با توجه به دمایی که دارند از خود انرژی صادر می‌کنند که اگر دو جسم با دمای متفاوت بتوانند با یکدیگر تشعشع مبادله کنند انتقال حرارت تشعشعی خواهیم داشت.

انتقال حرارت جابجایی در واقع شامل دو مکانیزم است، به عبارتی علاوه بر پخش انرژی در اثر حرکت راندم مولکولها، حرارت از طریق حرکت کلی سیال نیز منتقل می‌شود، می‌توان گفت که حرکت کل سیال با دمای متفاوت با دمای سطح باعث انتقال حرارت می‌شود، که این انتقال حرارت شامل هر دو مکانیزم فوق است.

بر اساس طبیعت جریان سیال می‌توان انتقال حرارت جابجائی را به جابجائی اجباری و جابجائی آزاد تقسیم بندی کرد. در جابجائی اجباری عامل حرکت سیال یک عامل خارجی، مانند پمپ، فن و یا وزش باد است. ولی در جابجائی آزاد (طبیعی) حرکت سیال در اثر نیروهای غوطه‌وری است که در نتیجه تغییرات جرم حجمی در اثر گرادیان دما در سیال به وجود می‌آید. مواقعی که جریان جابجایی اجباری در اثر جریان سیال با سرعت کم داشته باشیم، جابجائی آزاد نیز می‌تواند در رفتار سیال اثر بگذارد و به عبارتی جابجائی توأم آزاد و اجباری داشته باشیم.

۱-۲ راه تشخیص آرام یا آشفته بودن یک جریان

برای رسیدن به جریان آشفته بالاخص بر روی سطوح جامد و در داخل کانال‌های باز و لوله‌ها، ابتدا جریان بایستی از حالت آرام (Laminar)، وارد مرحله گذراز حالت آرام به آشفته (Transition) و در نهایت وارد رژیم جریان آشفته (Turbulence) گردد. گاهی اوقات نیز ممکن است بواسطه عوامل مختلف خارجی، ناحیه گذرا کوچک شده و یا حتی ناپدید گردد که در اینصورت تبدیل مستقیم جریان آرام به آشفته در طول یک مسیر کوتاه را شاهد خواهیم بود. به عنوان مثال، در لایه مرزی تشکیل شده بر روی سطوح غیرهموار و یا بر روی سطوح دارای انتقال جرم از طریق سطوح و یا در جریانهای اختلاطی و یا در جریانات مافوق صوتی که اندرکنش شوک و لایه مرزی را داریم می‌توان حالاتی را مشاهده نمود که در آنها تبدیل جریان آرام به آشفته در طی یک فاصله بسیار کوتاه رخ دهد. در برخی دیگر از مسائل مهندسی، اثراتی همچون اثر سانتریفوژ، اثر تغییرات چگالی، اثر جاذبه زمین، اثرات کاویتاسیون، ترکیدن حباب، واکنشهای شیمیایی، اثرات اغتشاشی میدان‌های الکترومغناطیسی و غیره نیز می‌توانند باعث تسریع جریان در رسیدن به حالت آشفته گردد.

معمولاً برای تشخیص آرام یا آشفته بودن جریانات مهندسی از اعداد بدون بعد استفاده می‌شود. در جریانات جابجائی اجباری تک فاز، معمولاً عدد رینولدز معیار تشخیص جریان آرام یا آشفته می‌باشد. این عدد به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$Re = \frac{\rho U_{\infty} L}{\mu} \quad (1-1)$$

که دراین رابطه، ρ چگالی سیال، U_{∞} سرعت جریان آزاد، L طول مقیاس هندسی (مثلاً طول صفحه و یا قطر لوله و یا ارتفاع مانع) و μ ویسکوزیته جریان است. به‌عنوان نمونه آزمایشات تجربی نشان داده اند که برای یک صفحه تخت با سطح صاف، عدد بدون بعد رینولدز نظیر گذر از حالت جریان آرام به آشفته چیزی در حدود $Re_{critical} = 500000$ است، بدین معنا که در فاصله $Re_x < 500000$ جریان را آرام فرض نموده و برای نواحی دارای $Re_x > 500000$ جریان آشفته محسوب می‌گردد (البته با این فرض که از مسافت اشغال شده توسط ناحیه گذرا صرف‌نظر شده‌باشد). سایر مقادیر بحرانی جریانات مختلف مهندسی با استفاده از آزمایشات تجربی و یا روشهای فوق العاده پرهزینه عددی تعیین می‌گردند.

چنانچه عدد رینولدز را به صورت زیر به صورت نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای لزجت بیان نماییم:

$$Re = \frac{\rho U_{\infty} L}{\mu} = \frac{\rho U_{\infty}^2}{\mu U_{\infty} / L} = \frac{\text{Inertial Force}}{\text{Viscous Force}}$$

در اینصورت می‌توان به راحتی دلیل آشفته شدن جریان در اعداد رینولدز بالا را توجیه نمود. به عنوان نمونه نتایج تجربی نشان داده‌اند که برای یک صفحه تخت با سطوح صاف، عدد رینولدز بحرانی $Re = 10^5$ می‌باشد، این عدد رینولدز (که بر مبنای طول صفحه تعریف می‌گردد) بدان معناست که در فاصله‌ای معین از ابتدای صفحه، نیروهای اینرسیال 10^5 برابر بزرگتر از نیروهای لزجت می‌باشند، یا آنکه نیروهای لزجت 10^5 برابر کوچکتر از نیروهای اینرسی می‌باشند. این امر باعث می‌شود که اغتشاشات (Disturbances) احتمالی موجود در جریان آزاد (با یک اینرسی معین) در نقاط مزبور، به‌واسطه ناچیز بودن نیروهای لزجت، از بین نرفته و حتی در محیط مناسب خود رشد نمایند تا آنکه در نهایت تمام حجم سیال را اشغال نمایند (شکل (1-1)). اما وقتی عدد رینولدز خیلی کوچک باشد، مثلاً $Re = o(1)$ (چنین عدد رینولدزی در ابتدای صفحه و

یا در نواحی بسیار نزدیک به دیواره و یا در جریانات با سرعت آزاد پائین قابل تصور است)، در این حالت نیروهای لزجت قدرت لازم برای از بین بردن اغتشاشات موجود در جریان آزاد را داشته و لذا در جریانات با عدد رینولدز پائین، جریان تا جای ممکن آرام و پایدار و عاری از هسته‌ها و نطفه‌های پایدار آشفتگی باقی می‌ماند، و حتی در صورت وجود اغتشاشات در داخل جریان، این اغتشاشات توسط ویسکوزیتهٔ جریان سریعاً میرا می‌گردند



شکل ۱-۱ تبدیل جریان لایه‌ای به جریان آشفته و افزایش اغتشاش جریان در پائین دست آن

۳-۱ شرط آشفتگی جریان جابجائی اجباری

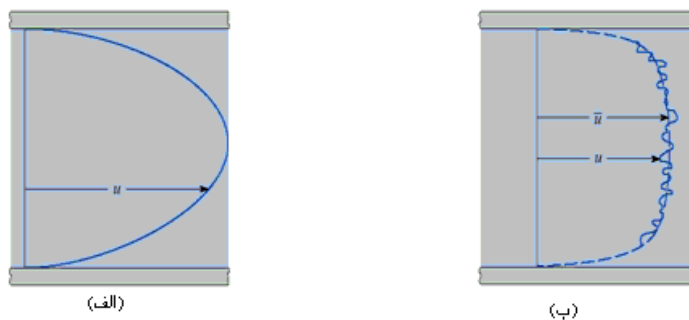
برای جریانات خارجی

$$\begin{cases} \text{Re}_x > 5 \times 10^5 & \text{در طول یک سطح} \\ \text{Re}_D > 20000 & \text{حول یک مانع} \end{cases}$$

برای جریانات داخلی

$$\text{Re}_{D,h} > 2300$$

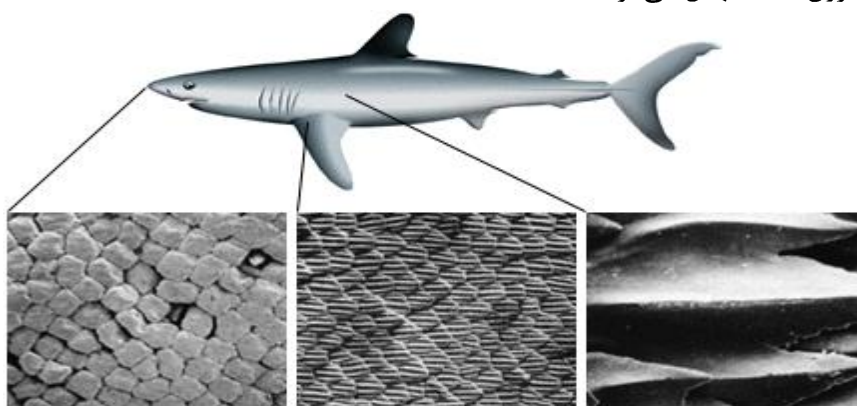
که در آن $\text{Re}_L = \frac{\rho UL}{\mu}$ و $L = X, D, D_h, \text{ etc}$ می‌باشد (D_h قطر هیدرولیکی می‌باشد).



شکل (۱-۲) (الف) جریان آرام درون لوله و شکل (ب) جریان آشفته درون لوله.

در شکل‌های (۱-۲) پروفیل‌های سرعت در دو جریان آرام و آشفته درون لوله با هم نشان داده شده‌اند، همانطور که مشاهده می‌شود پروفیل سرعت در جریان آشفته تخت‌تر می‌شود. مقادیر ارائه شده $Re_{critical}$ که در نمودارها و جداول مهندسی ارائه شده‌اند، تنها مقادیری تقریبی بوده و برای شرایط خاص و مشخصی از صافی سطوح ارائه شده‌اند، لذا با تغییر اندازه زبری این مقادیر بحرانی نیز تغییر خواهند نمود.

البته بایستی خاطر نشان نمود که همیشه زبری سطح باعث تسریع در رسیدن به حالت گذرا و آشفته شدن جریان نمی‌شود. یکی از این موارد استثنائی، پوست بدن کوسه‌ها می‌باشد (شکل ۱-۳) که به واسطه ساختار میکروسکوپی خود باعث به تاخیر افتادن در رسیدن جریان به حالت آشفته می‌گردد و به همین دلیل حرکت کوسه درون آب تسهیل می‌گردد.



شکل ۱-۳ ساختار میکروسکوپی پوست کوسه و نقش آن در به تاخیر انداختن رسیدن به حالت آشفته

۴-۱ اهمیت و کاربرد جابجایی اجباری

بایسرفت ابزارهای محاسباتی، دینامیک سیالات محاسباتی نقش هر چه مهمتری در طراحی و تحلیل سیستم‌ها پیدا می‌کند. در این راستا ابداع روش‌هایی که دارای آهنگ همگرایی بهتری هستند، هر چه افزون‌تر مورد تقاضا قرار گرفته‌اند.

در دو دهه گذشته پیشرفت‌های فراوانی در زمینه گسترش تکنیک‌های محاسباتی برای پیشگویی و محاسبه میدان‌های جریان و حرارت رخ داده است. کارایی و دقت این تکنیک‌ها به حدی از تکامل رسیده است که دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به صورت رایج و گسترده در آنالیز و بهبود سیستم‌های مهندسی و همچنین به عنوان ابزاری برای طراحی بهینه ساختارهای جدید بکار می‌رود. با این وجود پدیده‌های مهمی همچون خنک‌کاری قطعات الکترونیکی، جریان در مبدل‌های حرارتی و صنعت خودرو سازی و..... طبیعت تراکم ناپذیر دارند و باید به صورت مناسبی مورد تحلیل و بررسی قرار گیرند.

در بسیاری از دستگاه‌های حرارتی از جمله مبدل‌های حرارتی، افزایش نرخ انتقال حرارت مطلوبست و در نتیجه لازم است ضریب انتقال حرارت را افزایش داد. ناگفته نماند که با افزایش سطح نیز می‌توان نرخ انتقال حرارت را افزایش داد.

یکی دیگر از روش‌های تغییر نرخ انتقال حرارت، تغییر شکل دادن میدان جریان است و روش ساده‌ای که برای انجام این کار پیشنهاد می‌شود نصب موانع مختلف در داخل مجراست. با گذاشتن این موانع عمود بر

مسیر جریان می‌توان در جریان اغتشاش ایجاد نمود و خطوط جریان را منحرف کرد که خود باعث افزایش چشمگیر ضریب انتقال حرارت می‌شود.

در این تحقیق به بررسی عددی جریان سیال و انتقال حرارت آشفته کاملاً توسعه‌یافته در مجاری ریب‌دار سه بعدی با سطح مقطع مربعی می‌پردازیم. این‌گونه جریان‌ها عموماً در مبدل‌های حرارتی و همچنین در سیستم خنک‌کاری داخلی پره‌های توربین گاز پیشرفته و وجود دارند. به‌منظور بهبود عملکرد سیستم خنک‌کاری، همان‌طور که در بالا توضیح داده‌شد از ریب‌ها بر روی دیواره‌های مقابل مجاری خنک‌کاری استفاده می‌شود.

۱-۵-۱ مروری بر کارهای دیگران

به علت اهمیت موضوع کارهای عددی و تجربی بسیاری در این زمینه صورت گرفته است، که در زیر به ترتیب اولویت تاریخی به‌طور خلاصه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

۱-۵-۱-۱ روشهای تجربی

شاید اولین کار انجام شده تجربی در مورد بررسی اثر موانع عمود بر جریان مربوط به هان و همکاران [۱] باشد. آنها میدان جریان و انتقال حرارت را در کانالی با سطوح دنده دار بررسی کردند و اثر شکل دندانه‌ها را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج آنان به صورت ارائه روابطی برای ضریب اصطکاک و انتقال حرارت بیان گردیده است. از طرف دیگر بولر و کیلبرن [۲]، آزمایشهایی را در یک کانال با یک قطعه و سه اندازه مختلف انجام دادند و نتایج خود را به صورت رابطه‌ای برای ضریب انتقال حرارت بر حسب عدد رینولدز بر مبنای طول مشخصه ارائه نمودند.

دوبروفسکی و همکاران [۳]، آزمایشهایی بر روی جریان هوا در کانال‌های مستطیلی با سطوح قرار گرفته در آنها در محدوده اعداد رینولدز ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ انجام دادند. آنها ضریب اصطکاک را به صورت تابعی از اعداد رینولدز و پارامترهای هندسی مساله بدست آوردند.

مهربیان و همکارانش [۴]، مطالعه‌ای تجربی بر روی هیدرودینامیک کانال‌هایی با وجود مانع داشتند، این تحقیق بر پایه اندازه‌گیری فشار محلی به طور آزمایشگاهی بوده و رفتار افت فشار در دو طرف صفحه‌های مانع مطالعه گردیده است.

میندرس و همکاران [۵]، نیز مطالعه‌ای تجربی بر روی انتقال حرارت جابجایی از دو مکعب متصل به دیواره در آرایش ردیفی (مربعی) و تناوبی (مثلثی) داشتند. آنان به بررسی تاثیرات موقعیت نسبی موانع روی انتقال حرارت جابجایی در آرایش از مکعب‌های متصل به دیواره که در یک جریان مغشوش کاملاً توسعه یافته قرار دارند پرداختند.

تاچی و همکاران [۶]، نیز مطالعه‌ای تجربی بر روی گرادیان فشار مساعد در جریان مغشوش روی موانع مربعی در یک کانال باز داشتند. آنان تاثیر نحوه قرار گرفتن دیواره‌ها بر ایجاد گرادیان فشار، سرعت‌های متوسط و کمیت‌های مغشوش در جهت جریان را بررسی کردند.

۱-۵-۲ روشهای عددی

با توجه به پیشرفت‌هایی که در تکنولوژی ساخت کامپیوتر در سال‌های اخیر شاهد بوده‌ایم بسیاری از پژوهشگران سعی در حل جریان به صورت عددی نموده‌اند. با توجه به پرهزینه بودن روش‌های تجربی استفاده از روش‌های عددی مناسب‌تر به نظر می‌رسد.

از اولین کارهای انجام شده در این زمینه حل میدان جریان توسعه یافته آرام و انتقال حرارت در کانالی با تغییرات تناوبی سطح مقطع توسط پاتانکار و همکاران [۷]، می باشد، آنها جریان توسعه یافته در چنین کانالی را به صورت دو بعدی و با تقارن محوری به صورت عددی حل کردند.

بعداً در مقاله‌ای اسپارو و همکارانش [۸]، جریان داخل کانال با وجود مانع در آن را با توجه به کاربرد ویژه در معادل‌های حرارتی تحلیل کردند. آنها از برخورد جریان به لبه ابتدایی جسم و تشکیل گردابه صرف نظر نمودند.

وب و همکاران [۹]، انتقال حرارت در جریان عبوری از کانالی همراه با موانع عمود بر جریان که با آرایش یک‌درمیان روی دیواره‌های بالایی و پایینی کانال قرار گرفته‌اند را مورد مطالعه قرار دادند. آنها رژیم جریان را آرام در نظر گرفته و میدان جریان را به صورت دو بعدی از طریق حل عددی معادلات ناویر استوکس و پیوستگی حل کردند. شرایط مرزی حرارتی بصورت آهنگ انتقال حرارت ثابت از دیواره‌ها بکار رفت. محاسبات در ناحیه توسعه یافته و برای اعداد رینولدز، پرانتل و پارامترهای هندسی متفاوت انجام گرفت.

آساکو و همکاران [۱۰]، برای اولین بار جریان سه بعدی را در یک کانال همراه با قطعات مکعبی که بصورت خطی پشت سر هم روی یک دیواره آن نصب شده به روش عددی حل کردند. در این بررسی جریان سیال آرام و دمای دیواره یکنواخت فرض شد.

ناجام و همکارانش [۱۱] بر روی انتقال حرارت جابجایی توام غیر دائم در یک کانال افقی با موانع پریودیک توزیع شده روی دیواره پائینی کانال مطالعاتی داشته‌اند آنان نتایج حاصل را به روش عددی بدست آورده و جریان را آرام و دو بعدی در نظر گرفتند.

پوسکاس و همکاران [۱۲]، نیز اخیراً بر روی انتقال حرارت جابجایی توام در جریان مغشوش داخل کانال‌ها مطالعاتی داشته‌اند. آنان مطالعات خود را به انتقال حرارت در کانال‌های عمودی و افقی و کانال‌هایی با مقطع غیر دایره‌ای طبقه‌بندی نمودند.

اسکودیر و همکاران [۱۳]، نیز به تازگی به بررسی ساختار جریان مغشوش در کانال‌های سه بعدی با استفاده از روش (LDA) پرداختند. هدف آنان بیشتر ساختار جریان مغشوش بر اساس سرعت متوسط جریان بوده است.

به طور کلی می توان گفت در این زمینه در حالت دو بعدی مطالعات تجربی و عددی زیادی انجام گرفته است در ادامه این تحقیقات پروژه حاضر تعریف شده است.

۱-۶ کاربرد پروژه حاضر

این پایان نامه به بررسی عددی جریان سیال و انتقال حرارت آشفته کاملاً توسعه یافته در مجاری ریب دار سه بعدی با سطح مقطع مربعی می‌پردازد. این گونه جریان‌ها عموماً در سیستم‌های خنک‌کاری داخلی پره‌های

توربین گاز پیشرفته وجود دارند. به منظور بهبود عملکرد سیستم خنک‌کاری، انواع مختلفی از ریب‌ها بر روی دیوارهای مقابل مجاری خنک‌کاری قرار داده می‌شوند.

توربین‌های گازی عمدتاً به منظور تامین نیروی پیش‌رانه هواپیماها، تولید قدرت در نیروگاه‌های گازی و کاربردهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مزیت‌های عمده توربین گاز عبارتند از: قابلیت اعتماد فوق العاده، نسبت پیش‌رانه به وزن زیاد و میزان ارتعاش کم به دلیل عدم استفاده از قطعات رفت و برگشتی. کارموتور توربین گاز ممکن است به صورت گشتاور محوری و یا به صورت نیروی پیش‌رانه درجت مورد استفاده قرارگیرد. بدون تردید یکی از مهمترین کاربردهای توربین گاز در زمینه تولید نیروی پیش‌رانه موردنیاز هواپیماها است.

همان‌طور که در مقدمه بیان شد احتیاج مبرم صنایع به مبدل‌های حرارتی یکی از عوامل اصلی تحقیقات گسترده در خصوص انواع روش‌های توسعه انتقال حرارت می‌باشد. طراحی سیستم‌های مدرن گرمایی که در آنها ابعاد مبدل‌ها و هزینه ساخت آنها کاهش یافته باشد بعنوان یک هدف تعقیب می‌شود و برای دسترسی به این هدف بهبود انتقال حرارت در کانال‌ها یک فاکتور مهم اساسی می‌باشد.

۷-۱ جایگاه پروژه حاضر

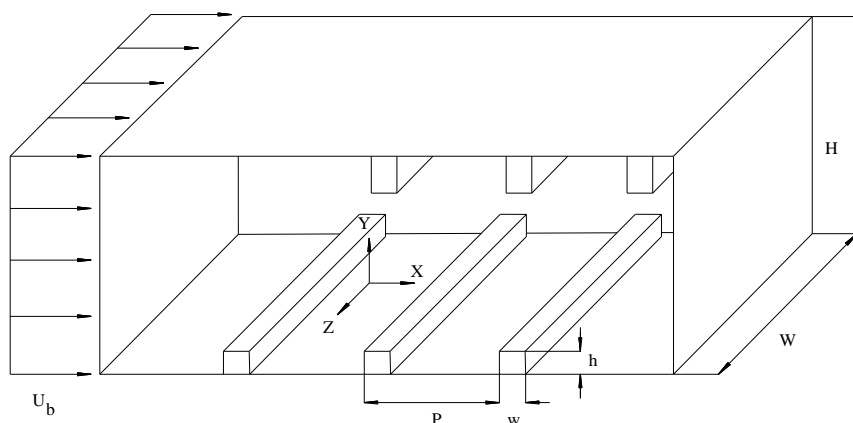
در این تحقیق به بررسی یکی از روش‌های بهبود انتقال حرارت با هندسه‌ای خاص که در رده سطوح گسترده قرار می‌گیرد، پرداخته می‌شود. همان‌طور که در قسمت (۱-۵-۲) کارهای عددی قبلی را مرور کردیم همگی به بررسی انتقال حرارت در هندسه‌های دو بعدی و رژیم آرام پرداخته بودند، بندرت به بررسی جریان در حالت سه بعدی آنهم در حالت مغشوش پرداخته شده بود، در این پروژه هدف اصلی نوشتن یک کد عددی سه بعدی مغشوش بود که در ایران بندرت در کارهای قبلی به چشم می‌خورد، همچنین نسبت به کارهای صورت گرفته در خارج از کشور این مزیت را دارد که به طور هم زمان کانال مورد نظر با استفاده از سه مدل اغتشاش مورد بررسی و نتایج حاصل با هم مقایسه می‌شوند.

به طور کلی می‌توان گفت در این زمینه در حالت دو بعدی مطالعات تجربی و عددی زیادی انجام گرفته است، این پروژه که می‌تواند در طراحی مبدل‌های حرارتی و همچنین در خنک‌کاری پره‌های توربین گازی و.... کاربرد داشته باشد در تحلیل‌های قبلی کمتر به چشم می‌آید. به همین منظور در ادامه تحقیقات قبلی پروژه حاضر تعریف می‌شود.

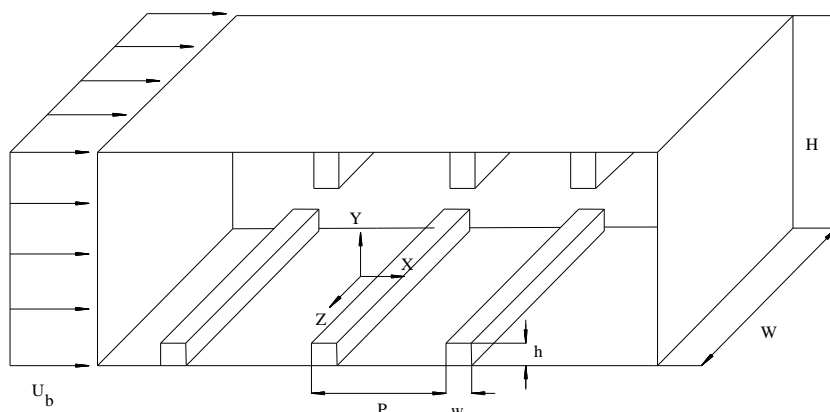
۸-۱ بیان مسئله

هندسه‌های بررسی شده در این تحقیق عبارتند از:

- ۱- کانال سه بعدی با ریب عمود بر جریان بر روی وجه پایین و بالا در حالت متقارن. شکل (۱-۴).
- ۲- کانال سه بعدی با ریب عمود بر جریان بر روی وجه پایین و بالا در حالت یک در میان. شکل (۱-۵).



شکل ۱-۴ کانال سه بعدی با ریب عمود بر جریان بر روی وجه پایین و بالا در حالت متقارن



شکل ۱-۵ کانال سه بعدی با ریب عمود بر جریان بر روی وجه پایین و بالا در حالت یک در میان.

۹-۱ اهداف اصلی طرح

- ۱- در این پروژه از روش عددی حجم محدود و الگوریتم simple به حل معادلات پیوستگی، مومنوم و انرژی سیال پرداخته می‌شود. به علت وجود ریب در مسیر جریان و همچنین ایجاد گردابه‌ها در طول مسیر جریان، جریان هر لحظه تمایل به مغشوش شدن دارد، پس تحلیل جریان در این کانال را در حالت مغشوش بررسی می‌کنیم و سپس با توجه به توزیع سرعت و دما که از حل عددی بدست می‌آید، به بررسی میزان انتقال حرارت از طریق عدد ناسلت و چگونگی تاثیر آرایش این ریب‌ها بر روی میزان انتقال حرارت می‌پردازیم.
- ۲- به منظور حل معادلات حاکم، از مدل‌های توربولانس جریان که عبارتند از: مدل‌های $k-\epsilon$ رینولدز پائین ناحیه ای، خطی و غیرخطی استفاده می‌شود.
- ۳- سپس به بررسی هر کدام از روش‌های فوق پرداخته و دقیقترین مدل را برای پیش‌بینی میدان جریان و دما انتخاب می‌کنیم.