دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

(گرایش تبدیل انرژی)

مطالعه عددی اثر زبری ساختاریافته درون میکروکانال‌ها بر جریان سیال و پدیده انتقال‌حرارت

نگارش:

محسن زارع

استاد راهنما:

دکتر مسعود خراتی‌کوپائی

استاد مشاور:

دکتر رضا مهریار

بهمن ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

مطالعه عددی اثر زبری ساختاریافته درون میکروکانال‌ها بر جریان سیال و پدیده انتقال‌حرارت

پایان نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی

نگارش:

محسن زارع

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه تبدیل انرژی دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا
دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران با درجه: **عالی**

دکتر مسعود خراتی کوپائی، استادیار رشته مهندسی مکانیک (استاد راهنما) .....

دکتر رضا مهریار، استادیار رشته مهندسی مکانیک (استاد مشاور) .....

دکتر امیر امیدوار، استادیار رشته مهندسی مکانیک (استاد داور) .....

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه: دکتر اکبر رهیده .....

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

اینجانب محسن زارع دانشجوی رشته مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی) مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد به شماره دانشجویی ۹۰۱۴۴۰۱۸ تأیید می‌نماید کلیه نتایج این پایان نامه، بدون هیچگونه دخل و تصرف ، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی‌صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین‌نامه‌های آموزشی، پژوهشی و انضباطی عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می‌کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه در برابر اشخاص ذی نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی دراین زمینه نخواهند داشت.

تبصره ۱- کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تبصره ۲- اینجانب تعهد می‌نماید بدون اخذ مجوز از دانشگاه صنعتی شیراز دستاوردهای این پایان نامه را منتشر نکند و یا در اختیار دیگران قرار ندهد.

محسن زارع

تاریخ و امضاء

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایج پایان نامه متعلق به دانشگاه و انتشار نتایج نیز تابع مقرارت دانشگاهی است و با موافقت استاد راهنما به شرح زیر، بلامانع است:

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه برای همگان بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.

☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه تا تاریخ ..... ممنوع است.

استاد راهنما:

دکتر مسعود خراتی‌کوپائی

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

پدر و مادرم

تشکر و قدردانی:

اکنون که این رساله به پایان رسیده است برخود فرض می‌دانم که از استاد ارجمند جناب آقای دکتر مسعود خراتی‌کوپائی به خاطر کمک‌ها و زحمات فراوان در انجام این پایان‌نامه به عنوان استاد راهنما کمال تشکر و قدرانی را داشته باشم. همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر رضا مهریار به عنوان استاد مشاور این پایان‌نامه، سپاسگزاری می‌کنم. در پایان از مرکز محاسبات سریع دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا بخاطر در اختیار قرار دادن فضای محاسباتی مورد نیاز برای انجام محاسبات پایان نامه نیز تشکر می‌کنم.

چکیده

مطالعه عددی اثر زبری ساختاریافته درون میکروکانال‌ها بر جریان سیال و پدیده انتقال‌حرارت

نگارش:
محسن زارع

برای خنک‌کاری پردازشگرها و قطعات الکترونیکی می‌توان از کانال‌هایی با ابعاد بسیار کوچک موسوم به میکروکانال‌ها استفاده کرد که با عبور دادن یک سیال از درون این میکروکانال‌ها، می‌توان گرمای بوجود آمده در این قطعات را جذب کرد.

میکروکانال‌های مورد مطالعه در این پایان نامه دارای زبری سطح با شکل و ساختار سینوسی هستند که وجود این زبری‌ها باعث افزایش انتقال حرارت و افت فشار می‌شود. تحقیق حاضر قصد ارزیابی عددی این دو پدیده را با وجود زبری‌ها که در دو نوع آرایش هستند، دارد. در آرایش اول، قله‌های زبری مقابل یکدیگر و در آرایش دوم قله‌های زبری یک سطح مقابل فرورفتگی سطح مقابل می‌باشند.

روش استفاده شده در این پایان‌نامه روشی عددی است که ابتدا هندسه و شبکه محاسباتی در نرم افزار گمبیت تولید می‌شود. بعد از آن، با استفاده از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی فلوئنت، شبیه‌سازی عددی انجام می‌شود. نهایتاً پس از انجام تحلیل، با استفاده از گرادیان فشار و توزیع دمای بدست آمده به ترتیب ضریب اصطکاک و عدد ناسلت محاسبه می‌شوند.

در نهایت پس از مقایسه نتایج بین آرایش اول و دوم زبری‌ها مشخص شد که آرایش دوم نسبت به آرایش اول دارای افت فشار و ضریب انتقال حرارت کمتر می‌باشد. همچنین با افزایش گام زبری، آرایش دوم نسبت به آرایش اول عملکرد حرارتی بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی: انتقال‌حرارت، جریان سیال، زبری ساختاریافته، شاخص عملکرد حرارتی، میکروکانال

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- هدف تحقیق و اهمیت آن ۲

۱-۳- بیان کلیات مساله ۳

۱-۴- بخش‌های پایان‌نامه ۳

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام‌شده ۴

۲-۱- مقدمه ۵

۲-۲- مطالعات قبلی انتقال‌حرارت در میکروکانال‌ها ۵

۲-۳- مطالعات قبلی روی اثرات زبری سطح ۱۰

۲-۳-۱- تحقیقات تجربی ۱۰

۲-۳-۲- تحقیقات عددی ۱۴

۲-۳-۳- داده‌های استفاده‌شده جهت اعتبارسنجی مدل عددی حاضر ۱۶

فصل سوم: مدلسازی و روش حل مساله ۱۷

۳-۱- مقدمه ۱۸

۳-۲- بیان مساله ۱۸

۳-۳- مدلسازی مساله ۱۹

۳-۳-۱- تشریح مدلسازی عددی مساله ۱۹

۳-۳-۲- معادلات حاکم ۲۱

۳-۳-۳- تئوری مساله و روابط مربوطه ۲۳

۳-۳-۴- شرایط مرزی و فرضیات ۲۷

۳-۳-۵- بررسی استقلال از شبکه ۲۸

۳-۴- روش پیشنهادی برای حل مساله ۲۸

فصل چهارم: نتایج شبیه‌سازی و تحلیل آنها ۳۰

۴-۱- مقدمه ۳۱

۴-۲- اعتبارسنجی ۳۱

۴-۲-۱- اعتبارسنجی مدل جهت محاسبه ضریب اصطکاک ۳۱

۴-۲-۲- اعتبارسنجی مدل برای عدد ناسلت ۳۲

۴-۳- نتایج بدست‌آمده برای هر دو آرایش زبری ۳۲
۴-۳-۱- نتایج بدست‌آمده برای آرایش اول زبری‌ها ۳۳
۴-۳-۲- نتایج بدست‌آمده برای آرایش دوم زبری‌ها ۴۹
۴-۳-۳- مقایسه‌ی نتایج بین هر دو آرایش زبری ۶۳
۴-۴- شاخص عملکرد حرارتی ۶۹

فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادها **۷۳**
۵-۱- مقدمه ۷۴
۵-۲- جمع‌بندی ۷۴
۵-۳- پیشنهادها ۷۵

مراجع **۷۶**

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱ نمودار مودی اصلاح شده براساس پارامترهای جریان تنگ‌شده [۲۷] ۱۲
شکل ۲-۲ زبری‌های ساختاریافته مختلف و خط جریان آنها [۴۴و۴۵] ۱۴
شکل ۲-۳ هندسه زبری ذوزنقه‌ای به همراه بردارهای سرعت حول مانع [۴۶] ۱۵
شکل ۳-۱ میکروکانال با زبری سینوسی؛ قله‌های سطح مقابل یکدیگر (آرایش اول) ۱۸
شکل ۳-۲ میکروکانال با زبری سینوسی؛ قله‌های یک سطح مقابل فرورفتگی سطح مقابل (آرایش دوم) ۱۹
شکل ۳-۳ شبکه محاسباتی استفاده شده جهت تحلیل (هر زبری شامل ۹ گره) ۲۱
شکل ۳-۴ نمایش کلی میکروکانال ۲۰
شکل ۳-۵ نمایش پارامترهای هندسی ۲۳
شکل ۳-۶ نمایش پنج نقطه جهت محاسبه دمای متوسط دیواره ۲۶
شکل ۳-۷ شبکه محاسباتی استفاده شده جهت تحلیل (هر زبری شامل ۱۷ گره) ۲۸
شکل ۴-۱ دمای دیواره کانال در عرض کانال در یک مقطع در انتهای کانال برای هر دو آرایش زبری ۳۳
شکل ۴-۲ دمای دیواره کانال و مقدار متوسط آن در انتهای کانال در آرایش اول زبری‌ها ۳۴
شکل ۴-۳ اثر ارتفاع زبری بر افت فشار در آرایش اول زبری‌ها ۳۵
شکل ۴-۴ تغییرات دما در ارتفاع‌های مختلف زبری در آرایش اول زبری‌ها ۳۷
شکل ۴-۵ اثر ارتفاع زبری بر ضریب انتقال حرارت در آرایش اول زبری‌ها ۳۸
شکل ۴-۶ بردارهای سرعت در ارتفاع‌های مختلف زبری در آرایش اول زبری‌ها ۴۰
شکل ۴-۷ اثر گام زبری بر افت فشار در آرایش اول زبری‌ها ۴۱
شکل ۴-۸ بردارهای سرعت در گام‌های مختلف زبری در آرایش اول زبری‌ها ۴۲
شکل ۴-۹ اثر گام زبری بر ضریب انتقال حرارت در آرایش اول زبری‌ها ۴۳
شکل ۴-۱۰ پروفیل دما در جهت طول برای ارتفاع‌های مختلف کانال در آرایش اول زبری‌ها ۴۴
شکل ۴-۱۱ اثر ارتفاع کانال بر افت فشار در آرایش اول زبری‌ها ۴۵
شکل ۴-۱۲ اثر ارتفاع کانال بر ضریب انتقال حرارت در آرایش اول زبری‌ها ۴۶
شکل ۴-۱۳ بردارهای سرعت در ارتفاع‌های مختلف کانال در آرایش اول زبری‌ها ۴۸

شکل ۴-۱۴ تغییرات دمای دیواره بالا و پایین کانال و مقدار متوسط آن در انتهای کانال در آرایش دوم زبری‌ها..... ۵۰
شکل ۴-۱۵ تغییرات افت‌فشار در ارتفاع‌های مختلف زبری در آرایش دوم زبری‌ها..... ۵۱
شکل ۴-۱۶ بردارهای سرعت در ارتفاع‌های مختلف زبری در آرایش دوم زبری‌ها ۵۲
شکل ۴-۱۷ تغییرات ضریب انتقال حرارت در ارتفاع‌های مختلف زبری در آرایش دوم زبری‌ها ۵۳
شکل ۴-۱۸ پروفیل دما برای ارتفاع‌های مختلف زبری در آرایش دوم زبری‌ها..... ۵۵
شکل ۴-۱۹ تغییرات افت فشار در گام‌های مختلف زبری در آرایش دوم زبری‌ها..... ۵۶
شکل ۴-۲۰ بردارهای سرعت در گام‌های مختلف زبری در آرایش دوم زبری‌ها..... ۵۷
شکل ۴-۲۱ تغییرات ضریب انتقال حرارت در گام‌های مختلف زبری در آرایش دوم زبری‌ها ... ۵۸
شکل ۴-۲۲ تغییرات افت فشار در ارتفاع‌های مختلف کانال در آرایش دوم زبری‌ها..... ۵۹
شکل ۴-۲۳ بردارهای سرعت در ارتفاع‌های مختلف کانال در آرایش دوم زبری‌ها ۶۰
شکل ۴-۲۴ تغییرات ضریب انتقال حرارت در ارتفاع‌های مختلف کانال در آرایش دوم زبری‌ها ۶۱
شکل ۴-۲۵ تغییرات دما در طول کانال برای ارتفاع‌های مختلف کانال در آرایش دوم زبری‌ها.. ۶۲
شکل ۴-۲۶ تغییرات افت فشار در ارتفاع‌های مختلف زبری در هر دو آرایش زبری..... ۶۴
شکل ۴-۲۷ تغییرات ضریب انتقال حرارت در ارتفاع‌های مختلف زبری در هر دو آرایش زبری ۶۵
شکل ۴-۲۸ تغییرات افت فشار در گام‌های مختلف زبری برای هر دو آرایش زبری..... ۶۶
شکل ۴-۲۹ تغییرات ضریب انتقال حرارت در گام‌های مختلف زبری برای هر دو آرایش زبری ۶۶
شکل ۴-۳۰ تغییرات افت فشار در ارتفاع‌های مختلف کانال برای هر دو آرایش زبری..... ۶۸
شکل ۴-۳۱ تغییرات ضریب انتقال حرارت در ارتفاع‌های مختلف کانال برای هر دو آرایش زبری ۶۸

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ خلاصه مقالات قبلی بر روی انتقال حرارت..... ۷
جدول ۲-۲ عدد ناسلت آرام توسعه‌یافته تحت شرط مرزی T با گرمایش‌های مختلف دیواره برای کانال [۱۷] ۸
جدول ۲-۳ عدد ناسلت آرام توسعه‌یافته تحت شرط مرزی $H1$ با گرمایش‌های مختلف دیواره برای کانال [۱۷] ۹
جدول ۳-۱ هندسه‌های استفاده شده برای کار عددی ۲۰
جدول ۴-۱ مقایسه ضریب اصطکاک حاصل از پژوهش حاضر و نتایج تئوری [۴۹]..... ۳۲
جدول ۴-۲ مقایسه عدد ناسلت حاصل از پژوهش حاضر و نتایج عددی [۲۳]..... ۳۲
جدول ۴-۳ اثر ارتفاع زبری بر پارامترهای جریان در آرایش اول زبری‌ها..... ۳۵
جدول ۴-۴ اثر ارتفاع زبری بر ضریب انتقال حرارت و عدد ناسلت در آرایش اول زبری‌ها ۳۷
جدول ۴-۵ اثر ارتفاع کانال بر پارامترهای جریان و انتقال حرارت در آرایش اول زبری‌ها ۴۵
جدول ۴-۶ اثر هر سه پارامتر بر جریان سیال و انتقال حرارت در آرایش اول زبری‌ها..... ۴۸
جدول ۴-۷ اثر ارتفاع زبری بر پارامترهای جریان و انتقال حرارت در آرایش دوم زبری‌ها..... ۵۳
جدول ۴-۸ اثر ارتفاع کانال بر پارامترهای جریان و انتقال حرارت در آرایش دوم زبری‌ها..... ۶۱
جدول ۴-۹ اثر هر سه پارامتر بر جریان سیال و انتقال حرارت در آرایش دوم زبری‌ها ۶۳
جدول ۴-۱۰ اثر ارتفاع زبری بر جریان سیال و انتقال حرارت در هر دو آرایش زبری..... ۶۵
جدول ۴-۱۱ اثر گام زبری بر جریان سیال و انتقال حرارت در هر دو آرایش زبری زبری ۶۷
جدول ۴-۱۲ اثر ارتفاع کانال بر جریان سیال و انتقال حرارت در هر دو آرایش زبری..... ۶۹
جدول ۴-۱۳ محاسبه شاخص عملکرد حرارتی در آرایش اول زبری‌ها..... ۷۰
جدول ۴-۱۴ محاسبه شاخص عملکرد حرارتی در آرایش دوم زبری‌ها ۷۱

فهرست نشانه‌های اختصاری

ارتفاع میکروکانال مستطیلی، (m)	a
عرض میکروکانال مستطیلی، (m)	b
طول میکروکانال مستطیلی، (m)	l
قطر هیدرولیکی، (m)	D_h
دبی جرمی جریان، (Kg/s)	$\dot{m}$
سطح مقطع میکروکانال، (m^2)	A_c
محیط میکروکانال، (m)	P
دما، (K)	T
نرخ انتقال گرما، (W)	Q
شار حرارتی کل، (W/m^2)	$q^{"}$
گرمای ویژه سیال، (J/Kg-K)	C_p
رسانایی گرمایی سیال، (W/m-K)	k
ضریب انتقال حرارت، (W/m^2-K)	h
لزجت دینامیکی، ($N\text{-}s/m^2$)	μ
عدد رینولدز	Re
عدد ناسلت	Nu
زبری نسبی	RR
شاخص عملکرد حرارتی	η

زیرنویس‌ها

دیوار	w
سیال	f

شرط مرزی شار حرارتی یکنواخت	$H2$
جریان کاملا توسعه یافته	fd
میانگین	avg
محلی(موضعی)	x
متوسط	m
پارامتر جریان تنگ‌شده	cf
محاسبات براساس آزمایش	exp
نظری(تئوری)	th
(کانال) صاف	$plain$

حروف یونانی

نسبت منظری کانال($\frac{a}{b}$)	α
گام زبری	λ
ارتفاع زبری	ε

فهرست کلمات اختصاری

MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
MFD	Micro-Flow Devices

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

از آنجائیکه عملکرد قطعات الکترونیکی بالاست، لذا در این قطعات گرمای زیادی تولید می‌شود. با توجه به ابعاد کوچک این قطعات، گرمای تولید شده در سطح کوچکی متمرکز می‌شودکه باعث گرم‌شدن قطعات، کاهش عملکرد و آسیب‌دیدن آنها می‌شود. بنابراین برای بهبود عملکرد پایدار و مداوم این قطعات نیاز به خنک‌کاری آنها می‌باشد. در ابتدا از روش‌هایی مانند افزایش سطح انتقال حرارت با استفاده از پره‌ها استفاده می‌شد که با توجه به افزایش تولید گرما این روش کاربرد چندانی ندارد. یکی دیگر از روش‌ها استفاده از جابجایی اجباری جریان هوای ایجاد شده توسط فن‌ها می‌باشد که هنوز در بعضی از سیستم‌ها استفاده می‌شود. یکی از روش‌های مناسب برای خنک‌کاری پردازشگرها و قطعات الکترونیکی استفاده از کانال‌هایی با ابعاد بسیار ریز است. از این کانال‌ها که با توجه به ابعاد آن‌ها به میکروکانال‌ها و مینی‌کانال‌ها تقسیم بندی می‌شوند به عنوان گرماگیر به گونه‌ای استفاده می‌کنند که با عبور دادن یک سیال از درون آن‌ها، می‌توان گرمای بوجود آمده در این قطعات را جذب کرد. از آنجائیکه قطرهیدرولیکی میکروکانال‌ها بسیار کم و سطح انتقال حرارت آنها بسیار بالاست، لذا میکروکانال‌ها قابلیت بسیار زیادی در جذب گرما دارند و از اینرو بطور گسترده در صنعت میکروالکترونیک مورد استفاده قرار می گیرند. البته روش‌های دیگری نیز برای خنک‌کاری مانند استفاده از میکروجت‌ها، سیالات چندفازی و نانوسیال‌ها وجود دارد.

۱-۲- هدف تحقیق و اهمیت آن

با توجه به توسعه سریع دستگاه‌ها و سیستم‌های میکرو در دو دهه گذشته، درک اثرات خواص جریان سیال و مکانیزم‌های انتقال حرارت در مینی‌کانال‌ها و میکروکانال‌ها به یک امر بسیار مهم تبدیل شده است. این پایان‌نامه نیز قصد بررسی جریان سیال و پدیده انتقال حرارت در این میکروکانال‌ها را دارد. البته میکروکانال‌های مورد مطالعه در این پایان‌نامه دارای زبری سطح هستند که خود این روشی ساده برای افزایش انتقال حرارت است. وجود این زبری‌ها همچنین باعث افت فشار در میکروکانال‌ها

می‌شود که پایان‌نامه حاضر به بررسی و ارزیابی عددی اثر این زبری‌ها بر افت‌فشار و انتقال‌حرارت می‌پردازد.

۱-۳- بیان کلیات مساله

همانطور که گفته شد در این پایان‌نامه اثرات زبری درون میکروکانال بر افت فشار و انتقال‌حرارت بررسی می‌شود. این زبری‌ها با شکل و ساختار سینوسی روی سطح داخلی میکروکانال قرار دارند. از آنجائیکه ساختار زبری‌ها سینوسی می‌باشد با جابجاکردن زبری‌ها به گونه‌ای که برآمدگی زبری‌های موجود در یک دیواره در مقابل فرورفتگی زبری‌های دیوار مقابل قرار گیرد، آرایش دیگری از زبری‌ها بدست می‌آید که اثر این حالت از زبری‌ها نیز بر جریان‌سیال و انتقال‌حرارت مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۴- بخش‌های پایان‌نامه

در فصل ۲ این پایان‌نامه مروری بر تحقیقات و کارهای تجربی و عددی انجام شده در زمینه اثرات زبری سطح در میکروکانال‌ها صورت می‌پذیرد. در فصل بعدی یعنی فصل ۳ ابتدا مساله‌ی مورد مطالعه بیان می‌شود و در پی مدلسازی آن، معادلات حاکم و روابط مربوطه آورده می‌شود. شرایط مرزی و فرضیات استفاده شده جهت حل مساله موردنظر نیز بیان می‌شود و در نهایت روشی عددی برای حل این مساله انتخاب می‌شود. در فصل ۴ نتایج شبیه‌سازی عددی صورت گرفته، ارائه و در مورد این نتایج بحث می‌شود. در نهایت، فصل ۵ به جمع‌بندی پایان‌نامه می‌پردازد و پیشنهادهایی جهت کارهای آینده ارائه می‌دهد. در بخش پایانی نیز مراجع استفاده شده جهت انجام پایان‌نامه آورده می‌شود.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات انجام‌شده