بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی جریان لغزشی و پرش دمایی در میکروکانال‌هایی با مقاطع مختلف

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی

مسعود مسعودی فرید

استاد راهنما
دکتر احمدرضا عظیمیان

۱۳۸۸

تشکر و قدردانی

پس از ستایش و سپاس از آفریدگار مهربان که طعم شیرین زندگی را به من چشانید و رنگین کمان هستی را برایم نمایان ساخت، از پدر و مادر دلسوز و مهربانم که همه ی دستاوردها و زیبایی های زندگی ام را مدیون فداکاری، بزرگواری و تلاش های صادقانه ی آن ها هستم، تشکر می نمایم. همچنین از همسر عزیزم که همواره یار و یاور من بوده و از هیچ حمایتی دریغ نکرده، سپاسگذارم. از صمیم قلب برای تمامی آن ها آرزوی بهروزی، شادی و سلامت داشته و امیدوارم همواره حضور سبزشان، روشنایی بخش و هدایت گر من در کشاکش زندگی باشد.

در ضمن از استاد راهنمای گرانقدرم، جناب آقای دکتر احمدرضا عظیمیان، که در مدت دو سال انجام پروژه، چون پدری دلسوز همراه و هدایت گر من بوده و با برنامه ریزی های مدون خود، موجبات به ثمر نشستن این پایان نامه را فراهم کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. همچنین از استاد گرامی ،جناب آقای دکتر ابراهیم شیرانی که به عنوان مشاور ، از نظرات ایشان بهره مند شدم، تشکر می نمایم.

در پایان از علی جعفریان ، پویان رسولی، محسن لاهوتی، علی محمدی نصرآبادی، سعید صادقی لفمجانی، فرخ فرزانه ، روزبه فرزان ، علی طهماسبی، احمد آسیابان، احسان سعادتی، امیر بناری، مسیح رمضانپور، محمد جدیدی، مجید معمارزاده، امین رفاهی، شعیب خان محمدی و سایر دوستانی که در این مدت، در کنار آنها خاطرات تلخ و شیرین بسیاری را سپری کرده و در غم ها و شادی های یکدیگر شریک بودیم، صمیمانه تشکر نموده و امیدوارم که دست سرنوشت، آینده ای درخشان را برای آنان رقم بزند. همچنین از سرکار خانم ارشادی، مسئول محترم آموزش تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی مکانیک، به خاطر شکیبایی و همکاری صادقانه با ایجانب، نهایت سپاسگذاری را دارم.

مسعود مسعودی فرید

خرداد ۱۳۸۸

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعـات، ابتـکارات و نوآوری‌هـای ناشـی از تحقیـق موضـوع ایـن پایـان‌نامـه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه صنعتـی اصفـهان است.

تقدیم به

پدرم، که مظهر تلاش و فداکاری است

مادرم، که تجلی محبت و شکیبایی است

و همسرم، که آتش عشق و شیدایی است

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه ۲

۱-۱- کلیات ۲

۱-۲- میکروکانال‌ها ۳

۱-۲-۱- انواع میکروکانال و روش تولید آن ۴

۱-۳- ساختار جریان در میکروکانال‌ها ۵

۱-۴- لغزش و پرش دمایی در دیواره ۶

۱-۴-۱- لغزش ۶

۱-۴-۲- پرش دمایی ۹

۱-۵- اهمیت کار حاضر ۱۰

۱-۶- محتوای فصول بعدی ۱۱

فصل دوم: تاریخچه کارهای انجام شده و مزایای حل عددی ۱۲

۲-۱- تاریخچه کارهای انجام شده ۱۲

۲-۲- مزایای حل عددی ۲۰

فصل سوم: بیان مسأله و معادلات حاکم ۲۲

۳-۱- مقدمه ۲۲

۳-۲- فرضیات مسأله ۲۲

۳-۳- هندسه مسأله ۲۳

۳-۴- معادلات حاکم ۲۳

۳-۵- شرایط مرزی ۲۴

۳-۵-۱- میکرو کانال مستطیلی ۲۴

۳-۵-۲- میکرو کانال بیضوی ۲۶

۳-۵-۳- میکرو کانال دایره‌ای ۲۷

۳-۶- پارامترها و گروههای بی بعد ۲۸

۳-۷- قطر هیدرولیکی و نسبت ارتفاع به عرض میکروکانال ۲۹

۳-۷-۱- میکروکانال مستطیلی ۲۹

۳-۷-۲- میکروکانال ذوزنقه ای ۲۹

۳-۷-۳- میکروکانال بیضوی ۲۹

۳-۷-۴- میکروکانال دایره ای ۳۰

۳-۸- مقاومت حرارتی میکروکانال ۳۰

۳-۸-۱- میکروکانال مستطیلی ۳۰

۳-۸-۲- میکروکانال ذوزنقه ای ۳۱
۳-۸-۳- میکروکانال بیضوی ۳۱
۳-۸-۴- میکروکانال دایره ای ۳۱

فصل چهارم: نتایج ۳۲
۴-۱- مقدمه ۳۲
۴-۲- روشهای به کار رفته در این تحقیق ۳۲
۴-۳- دامنه تحقیق ۳۳
۴-۳-۱- عدد نودسن ۳۳
۴-۳-۲- عدد رینولدز ۳۳
۴-۳-۳- عدد پویزول ۳۳
۴-۳-۴- عدد ناسلت ۳۴
۴-۴- ساختار برنامه فرترن ۳۵
۴-۵- بهینه سازی شبکه محاسباتی ۳۵
۴-۶- میکروکانال مستطیلی ۳۵
۴-۶-۱- هندسه میکروکانالهای مستطیلی ۳۵
۴-۶-۲- مطالعه شبکه بندی ۳۶
۴-۶-۳- نتایج حل هیدرودینامیکی ۳۷
۴-۶-۴- نتایج حل حرارتی ۴۴
۴-۶-۵- جمع بندی ۵۲
۴-۷- میکروکانال ذوزنقه ای ۵۳
۴-۷-۱- هندسه میکروکانالهای ذوزنقه‌ای ۵۳
۴-۷-۲- مطالعه شبکه بندی ۵۴
۴-۷-۳- نتایج حل هیدرودینامیکی ۵۵
۴-۷-۴- نتایج حل حرارتی ۶۰
۴-۷-۵- جمع بندی ۶۷
۴-۸- میکروکانال بیضوی ۶۸
۴-۸-۱- هندسه میکروکانال‌های بیضوی ۶۹
۴-۸-۲- مطالعه شبکه بندی ۶۹
۴-۸-۳- نتایج حل هیدرودینامیکی ۷۰
۴-۸-۴- نتایج حل حرارتی ۷۶
۴-۸-۵- جمع بندی ۸۳
۴-۹- میکروکانال دایره ای ۸۴
۴-۹-۱- هندسه میکروکانال‌های دایره‌ای ۸۴
۴-۹-۲- مطالعه شبکه بندی ۸۵
۴-۹-۳- نتایج حل هیدرودینامیکی ۸۶
۴-۹-۴- نتایج حل حرارتی ۹۲

۴-۹-۵- جمع بندی ۹۸

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۰

۵-۱- مقدمه ۱۰۰

۵-۲- نتیجه گیری ۱۰۰

۵-۳- پیشنهادات ۱۰۵

مراجع ۱۰۶

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: نمایی از میکروکانال مستطیلی ۴
شکل ۱-۲: نمایی از میکروکانال ذوزنقه‌ای ۴
شکل ۱-۳: نمایی از میکروکانال دایره‌ای ۵
شکل ۱-۴: تغییرات رژیم جریان باتوجه به عدد نودسن ۷
شکل ۱-۵: پروفیل سرعت لغزشی ۷
شکل ۳-۱: میکروکانال مستطیلی ۲۴
شکل ۳-۲: میکروکانال ذوزنقه‌ای ۲۵
شکل ۳-۳: میکروکانال بیضوی ۲۶
شکل ۳-۴: میکروکانال دایره‌ای ۲۷
شکل ۴-۱: ابعاد میکروکانال مستطیلی، $Kn=0.00$ و $\alpha=1$. ۳۶
شکل ۴-۲: بررسی وابستگی حل به شبکه $Re=1$، $Kn=0.01$ و $\alpha=1$. ۳۷
شکل ۴-۳: تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=0.3$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۳۸
شکل ۴-۴: تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=0.6$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۳۸
شکل ۴-۵: تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=1$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۳۹
شکل ۴-۶: پروفیل سه بعدی سرعت در مقطع میکروکانال $Re=1$، $Kn=0.1$ (a)، $Kn=0$ (b). ۴۰
شکل ۴-۷: مقدار لغزش بر روی ضلع کوچکتر. ۴۱
شکل ۴-۸: مقدار لغزش بر روی ضلع بزرگتر. ۴۱
شکل ۴-۹: پروفیل فشار بی‌بعد درمقاطع مختلف. ۴۲
شکل ۴-۱۰: پروفیل سرعت بی‌بعد در مقاطع مختلف. ۴۳
شکل ۴-۱۱: اثرات لغزش بر روی طول ورودی هیدرودینامیکی. ۴۴
شکل ۴-۱۲:پروفیل دمای بی‌بعد در مقاطع مختلف. ۴۵
شکل ۴-۱۳:پروفیل دمای بی‌بعد ۴۵
شکل ۴-۱۴: مقدار پرش دمایی بر روی ضلع کوچکتر. ۴۶
شکل ۴-۱۵: مقدار پرش دمایی بر روی ضلع بزرگتر. ۴۶
شکل ۴-۱۶: تغییرات محوری Nu، $Re=0.3$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۴۷
شکل ۴-۱۷: تغییرات محوری Nu، $Re=0.6$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۴۷
شکل ۴-۱۸: تغییرات محوری Nu، $Re=1$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۴۸
شکل ۴-۱۹: اثرات لغزش بر روی طول ورودی حرارتی. ۵۰
شکل ۴-۲۰: دمای بی بعد بر حسب طول بی بعد میکروکانال. ۵۱
شکل ۴-۲۱: مقاومت حرارتی بی بعد میکروکانال بر حسب عدد نودسن. ۵۲
شکل ۴-۲۲: ابعاد میکروکانال ذوزنقه‌ای، $Kn=0.00$ و $\alpha=1$. ۵۳
شکل ۴-۲۳: شبکه مورد استفاده برای حل نصف سطح مقطع میکروکانال ذوزنقه‌ای ۵۴
شکل ۴-۲۴: بررسی وابستگی حل به شبکه $Re=1$ ، $Kn=0.01$ و $\alpha=1$. ۵۵
شکل ۴-۲۵: تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=0.3$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۵۶
شکل ۴-۲۶:تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=0.6$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۵۶

شکل ۴-۲۷:تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=1$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۵۶
شکل ۴-۲۸: پروفیل سه بعدی سرعت در مقطع میکروکانال $Re=1$ ، $Kn=0.1$ (a)، $Kn=0$ (b). ۵۸
شکل ۴-۲۹: پروفیل فشار بی بعد در مقاطع مختلف. ۵۸
شکل ۴-۳۰: پروفیل سرعت بی بعد در مقاطع مختلف. ۵۹
شکل ۴-۳۱: اثرات لغزش بر روی طول ورودی هیدرودینامیکی. ۶۰
شکل ۴-۳۲: پروفیل دمای بی بعد در مقاطع مختلف. ۶۱
شکل ۴-۳۳: پروفیل دمای سه بعدی. ۶۱
شکل ۴-۳۴: تغییرات محوری Nu، $Re=0.3$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۶۲
شکل ۴-۳۵: تغییرات محوری Nu، $Re=0.6$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۶۲
شکل ۴-۳۶: تغییرات محوری Nu، $Re=1$، $\alpha=1$ (a)، $\alpha=0.5$ (b). ۶۳
شکل ۴-۳۷: اثرات لغزش بر روی طول ورودی حرارتی. ۶۵
شکل ۴-۳۸: دمای بی بعد بر حسب طول بی بعد میکروکانال. ۶۶
شکل ۴-۳۹: مقاومت حرارتی بی بعد میکروکانال بر حسب عددنودسن. ۶۷
شکل ۴-۴۰: ابعاد میکروکانال بیضوی، $Kn=0.00$ و $\alpha=0.5$. ۶۹
شکل ۴-۴۱: شبکه پروانه‌ای. ۷۰
شکل ۴-۴۲: بررسی وابستگی حل به شبکه $Re=1$ ، $Kn=0.01$ و$\alpha=0.5$. ۷۰
شکل ۴-۴۳: تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=0.3$، $\alpha=0.5$ (a)، $\alpha=1/3$ (b). ۷۱
شکل ۴-۴۴: تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=0.6$، $\alpha=0.5$ (a)، $\alpha=1/3$ (b). ۷۱
شکل ۴-۴۵: تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=1$، $\alpha=0.5$ (a)، $\alpha=1/3$ (b). ۷۲
شکل ۴-۴۶: پروفیل سه بعدی سرعت در مقطع میکروکانال. ۷۳
شکل ۴-۴۷: پروفیل فشار بی بعد در مقاطع مختلف. ۷۴
شکل ۴-۴۸: پروفیل سرعت بی بعد در مقاطع مختلف. ۷۵
شکل ۴-۴۹: اثرات لغزش بر روی طول ورودی هیدرودینامیکی. ۷۵
شکل ۴-۵۰: پروفیل دمای بی بعد در مقاطع مختلف. ۷۶
شکل ۴-۵۱: پروفیل دمای سه بعدی ۷۷
شکل ۴-۵۲: تغییرات محوری Nu ، $Re=0.3$، $\alpha=0.5$ (a)، $\alpha=1/3$ (b). ۷۷
شکل ۴-۵۳: تغییرات محوری Nu ، $Re=0.6$، $\alpha=0.5$ (a)، $\alpha=1/3$ (b). ۷۸
شکل ۴-۵۴: تغییرات محوری Nu ، $Re=1$، $\alpha=0.5$ (a)، $\alpha=1/3$ (b). ۷۸
شکل ۴-۵۵: اثرات لغزش بر روی طول ورودی حرارتی. ۸۱
شکل ۴-۵۶: دمای بی بعد بر حسب طول بی بعد میکروکانال. ۸۲
شکل ۴-۵۷: مقاومت حرارتی بی بعد میکروکانال بر حسب عدد نودسن. ۸۲
شکل ۴-۵۸: ابعاد میکروکانال دایره‌ای، $Kn=0.00$. ۸۵
شکل ۴-۵۹: مش پروانه‌ای. ۸۶
شکل ۴-۶۰: بررسی وابستگی حل به شبکه $Re=1$ ، $Kn=0.01$ ۸۶
شکل ۴-۶۱: تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=0.3$. ۸۷
شکل ۴-۶۲: تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=0.6$. ۸۸
شکل ۴-۶۳: تغییرات محوری $f_{app}\,Re$، $Re=1$. ۸۸

شکل ۴-۶۴: پروفیل سه بعدی سرعت در مقطع میکروکانال. ۸۹
شکل ۴-۶۵: پروفیل فشار بی بعد در مقاطع مختلف. ۹۰
شکل ۴-۶۶: پروفیل سرعت بی بعد در مقاطع مختلف. ۹۱
شکل ۴-۶۷: اثرات لغزش بر روی طول ورودی هیدرودینامیکی. ۹۱
شکل ۴-۶۸: پروفیل دمای بی بعد در مقاطع مختلف. ۹۲
شکل ۴-۶۹: پروفیل دمای سه بعدی. ۹۳
شکل ۴-۷۰: تغییرات محوری Nu ، $Re=0.3$. ۹۳
شکل ۴-۷۱: تغییرات محوری Nu ، $Re=0.6$. ۹۴
شکل ۴-۷۲: تغییرات محوری Nu ، $Re=1$. ۹۴
شکل ۴-۷۳: اثرات لغزش بر روی طول ورودی حرارتی. ۹۶
شکل ۴-۷۴: دمای بی بعد بر حسب طول بی بعد میکروکانال ۹۷
شکل ۴-۷۵: مقاومت حرارتی بی بعد میکروکانال بر حسب عدد نودسن. ۹۸

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: ضرایب C_1 و C_2 برای مدل(۱-۸). ۱۰
جدول ۴-۱: ابعاد میکروکانال مستطیلی برای اعداد نودسن و α های مختلف ۳۶
جدول ۴-۲: تغییرات $f.Re$ توسعه یافته بر حسب عدد نودسن و نسبت ارتفاع به عرض کانال. ۳۷
جدول ۴-۳: درصد تغییرات $f.Re$ توسعه یافته با تغییرات نسبت ارتفاع به عرض کانال. ۳۹
جدول ۴-۴: درصد تغییرات $f.Re$ توسعه یافته با تغییرات نودسن. ۴۰
جدول ۴-۵: طول ورودی هیدرولیکی. ۴۴
جدول ۴-۶: تغییرات Nu توسعه یافته برحسب عدد نودسن و نسبت ارتفاع به عرض کانال. ۴۸
جدول ۴-۷: درصد کاهش Nu توسعه یافته با افزایش عدد نودسن. ۴۹
جدول ۴-۸: درصد افزایش Nu توسعه یافته با کاهش α. ۴۹
جدول ۴-۹: درصد کاهش Nu توسعه یافته با افزایش عدد رینولدز. ۴۹
جدول ۴-۱۰: تغییرات j/f برحسب عدد نودسن و نسبت ارتفاع به عرض کانال ۵۰
جدول ۴-۱۱: طول ورودی حرارتی. ۵۱
جدول ۴-۱۲: مقاومت حرارتی بی بعد. ۵۲
جدول ۴-۱۳: ابعاد میکروکانال ذوزنقه‌ای برای اعداد نودسن و α های مختلف ۵۴
جدول ۴-۱۴: تغییرات $f\,\mathrm{Re}$ توسعه یافته برحسب عدد نودسن و نسبت ارتفاع به عرض کانال ۵۵
جدول ۴-۱۵: درصد تغییرات $f.Re$ توسعه یافته با تغییرات نسبت ارتفاع به عرض کانال. ۵۷
جدول ۴-۱۶: درصد تغییرات $f.Re$ توسعه یافته با تغییرات نودسن. ۵۷
جدول ۴-۱۷: مقایسه $f.Re$ توسعه یافته برای سطح مقطع مستطیلی و ذوزنقه‌ای. ۵۷
جدول ۴-۱۸: طول ورودی هیدرولیکی. ۶۰
جدول ۴-۱۹: تغییرات Nu توسعه یافته برحسب عدد نودسن و نسبت ارتفاع به عرض کانال. ۶۳
جدول ۴-۲۰: درصد کاهش Nu توسعه یافته با افزایش عدد نودسن. ۶۳
جدول ۴-۲۱: درصد افزایش Nu توسعه یافته با کاهش α. ۶۴
جدول ۴-۲۲: درصد کاهش Nu توسعه یافته با افزایش عدد رینولدز. ۶۴
جدول ۴-۲۳: مقایسه Nu توسعه یافته برای سطح مقطع مستطیلی و ذوزنقه‌ای. ۶۴
جدول ۴-۲۴: تغییرات j/f برحسب عدد نودسن و نسبت ارتفاع به عرض کانال ۶۵
جدول ۴-۲۵: طول ورودی حرارتی. ۶۶
جدول ۴-۲۶: مقاومت حرارتی بی بعد. ۶۷
جدول ۴-۲۷: ابعاد میکروکانال بیضوی برای اعداد نودسن و α های مختلف ۶۹
جدول ۴-۲۸: تغییرات $f\,\mathrm{Re}$ توسعه یافته برحسب عدد نودسن و نسبت ارتفاع به عرض کانال ۷۰
جدول ۴-۲۹: درصد تغییرات $f.Re$ توسعه یافته با تغییرات نسبت قطرهای کانال. ۷۲
جدول ۴-۳۰: درصد تغییرات $f.Re$ توسعه یافته با تغییرات نودسن. ۷۲
جدول ۴-۳۱: مقایسه $f.Re$ توسعه یافته برای سطح مقطع بیضوی، مستطیلی و ذوزنقه‌ای. ۷۳
جدول ۴-۳۲: طول ورودی هیدرولیکی. ۷۶
جدول ۴-۳۳: تغییرات Nu توسعه یافته برحسب عدد نودسن و α. ۷۹
جدول ۴-۳۴: درصد کاهش Nu توسعه یافته با افزایش عدد نودسن. ۷۹

جدول ۴-۳۵: درصد افزایش Nu توسعه یافته با کاهش α. ۷۹
جدول ۴-۳۶: درصد کاهش Nu توسعه یافته با افزایش عدد رینولدز. ۷۹
جدول ۴-۳۷: مقایسه Nu توسعه یافته برای سطح مقطع بیضوی، مستطیلی و ذوزنقه‌ای. ۸۰
جدول ۴-۳۸: تغییرات j/f برحسب عدد نودسن و α ۸۰
جدول ۴-۳۹: طول ورودی حرارتی. ۸۱
جدول ۴-۴۰: مقاومت حرارتی بی بعد. ۸۳
جدول ۴-۴۱: ابعاد میکروکانال دایره‌ای برای اعداد نودسن مختلف ۸۵
جدول ۴-۴۲: تغییرات $f\,\mathrm{Re}$ توسعه یافته برحسب عدد نودسن. ۸۷
جدول ۴-۴۳: درصد تغییرات $f.Re$ توسعه یافته با تغییرات نودسن. ۸۹
جدول ۴-۴۴: مقایسه $f.Re$ توسعه یافته برای سطح مقطع های مختلف. ۸۹
جدول ۴-۴۵: طول ورودی هیدرولیکی. ۹۲
جدول ۴-۴۶: تغییرات Nu توسعه یافته برحسب عدد نودسن. ۹۵
جدول ۴-۴۷: درصد کاهش Nu توسعه یافته با افزایش عدد نودسن. ۹۵
جدول ۴-۴۸: درصد کاهش Nu توسعه یافته با افزایش عدد رینولدز. ۹۵
جدول ۴-۴۹: مقایسه Nu توسعه یافته برای سطح مقطع بیضوی، دایره‌ای، مستطیلی و ذوزنقه‌ای. ۹۵
جدول ۴-۵۰: تغییرات j/f برحسب عدد نودسن ۹۶
جدول ۴-۵۱: طول ورودی حرارتی. ۹۷
جدول ۴-۵۲: مقاومت حرارتی بی بعد. ۹۸

فهرست علائم لاتین

$A(m^2)$	سطح تحت تأثیر نیرو، سطح مقطع میکروکانال
$A_{fin}(m^2)$	سطح تبادل کننده حرارتی
$C_v(J/kgK)$	گرمای ویژه
$C_p(J/kgK)$	گرمای ویژه حجم ثابت
$D(m)$	قطر میکروکانال دایره ای
$D_h(m)$	قطر هیدرولیکی میکروکانال
f	ضریب اصطکاک فنینگ
$F(N)$	نیروی وارده بر سیال
$h(m)$	ارتفاع میکروکانال ذوزنقه‌ای
$h_c(W/m^2K)$	ضریب انتقال حرارت جابجایی
j	ضریب کولبرن
$K_f(W/mK)$	ضریب هدایت حرارتی سیال
Kn	عدد نودسن
$K_B(J/K)$	ثابت بولتزمن
$L(m)$	طول مشخصه در عدد نودسن
$L_{CH}(m)$	طول میکروکانال
$L_{hy}(m)$	طول ورودی هیدرودینامیکی
$L_{th}(m)$	طول ورودی حرارتی
n	راستای عمود بر دیواره

Nu	عدد نوسلت
$P(pa)$	فشار
P^+	فشار بدون بعد
Pe	عدد پکلت
$P_e(m)$	طول ناحیه خیس شده در مقطع میکروکانال
Po	عدد پویزول
Pr	عدد پرانتل
$q''(W/m^2)$	شار حرارتی
$R(J/kgK)$	ثابت گازها
Re	عدد رینولدز
$T(K)$	دما
T^*	دمای بدون بعد
$T_{in}(K)$	دمای سیال در ورودی میکروکانال
$T_{wm}(K)$	دمای متوسط در مرز جامد و سیال
$T_m(K)$	دمای متوسط توده سیال
$u(m/s)$	سرعت در راستای x
$v(m/s)$	سرعت در راستای y
$w(m/s)$	سرعت در راستای z
u^+	سرعت بی بعد
$U_i(m/s)$	سرعت سیال در ورودی میکروکانال
$U_s(m/s)$	سرعت لغزشی

فهرست علائم یونانی

α	نسبت ارتفاع به عرض در میکروکانالهای مستطیلی و ذوزنقه‌ای و نسبت قطرها در میکروکانال بیضوی
γ	نسبت گرمای ویژه
$\lambda(m)$	متوسط پویش آزاد ملکولی
$\mu(pa.s)$	ویسکوزیته
$\theta(K/W)$	مقاومت حرارتی میکروکانال
θ^*	مقاومت حرارتی بدون بعد میکروکانال
$\rho(kg/m^3)$	دانسیته
$\tau(pa)$	تنش برشی
$\sigma(m)$	طول مشخصه لناردجونز
σ_T	ضریب تطابق مماسی انرژی
σ_v	ضریب تطابق مماسی مومنتوم

فهرست اندیسها

h	هیدورلیک
in	ورودی میکروکانال
f	سیال
gas	گاز
$jump$	پرش حرارتی
m	متوسط
max	ماکزیمم
s	لغزش در دیواره
w	دیواره
$+$	مختصات بدون بعد
$*$	مختصات بدون بعد حرارتی

چکیده

در کار حاضر جریان لغزشی و انتقال حرارت سیال رقیق شده به همراه پرش دمایی در میکروکانال‌های مستطیلی، ذوزنقه‌ای، بیضوی و دایره‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. برای حل معادلات ناویر استوکس و انرژی از روش حجم کنترل استفاده شده و شروط لغزش و پرش دمایی بر روی دیواره اعمال گردیده است. جریان برای اعداد نودسون کوچکتر از ۰/۱ حل شده و تاثیرات عدد رینولدز در محدوده ۰/۱ تا ۱ و نسبت ارتفاع به عرض کانال(در میکروکانال‌های مستطیلی و ذوزنقه‌ای) و یا نسبت اقطار(در میکروکانال بیضوی) در محدوده ۰/۲ تا ۱ بر روی پروفیل سرعت، میدان فشار، میدان دما و همچنین بر روی پارامترهای کلیدی جریان مانند طول ورودی هیدرودینامیکی و حرارتی، ضریب اصطکاک، عدد ناسلت، عملکرد میکروکانال و مقاومت حرارتی میکروکانال مورد تحقیق قرار گرفته است و تفاوت کمی هر یک از این پارامترها در مقاطع مختلف ارائه شده است. در کلیه میکروکانال‌ها در ناحیه ورودی، بروز پدیده لغزش و رقیق شدن سیال باعث افت شدید ضریب اصطکاک و عدد ناسلت نسبت به شرایط عدم لغزش و عدم پرش دمایی شده است. در دهانه ورودی مقدار $f.Re$ و عدد ناسلت برای تمامی میکروکانال‌ها مقدار محدودی بوده که این مقدار به هندسه و عدد رینولدز وابسته نمی‌باشد زیرا در دهانه ورودی سیال در حال ورود به کانال بوده و هنوز درک درستی از هندسه و عدد رینولدز ندارد . همچنین در این منطقه در شرایط عدم لغزش وجود گرادیان فشار بالا در کنار دیواره باعث می‌شود که بیشینه سرعت سیال در کنار دیواره ها رخ دهد و با افزایش عدد نودسن و کاهش گرادیان فشار، مقدار سرعت کنار دیواره کاهش می یابد. با حرکت در طول کانال و نزدیک شدن به منطقه توسعه یافته به علت کاهش گرادیان فشار در مقطع میکروکانال بیشینه سرعت در میانه کانال اتفاق می افتد. پرش دمایی بر روی دیواره ها باعث کاهش نرخ انتقال حرارت شده و بنابراین دمای سیال نسبت به شرایط عدم لغزش وعدم پرش کمتر می باشد. بهترین عملکرد در بین مقاطع مورد بحث مربوط به مقطع بیضوی می‌باشد که در رینولدز ۰/۳، نودسن ۰/۱ و نسبت اقطار یک سوم بالاترین نرخ انتقال حرارت را در ازای کمترین افت فشار داراست.

کلمات کلیدی

جریان لغزشی، پرش دمایی، رقت، میکروکانال مستطیلی، میکروکانال ذوزنقه‌ای ، میکروکانال بیضوی، میکروکانال دایره‌ای، ناحیه ورودی، ضریب اصطکاک، عدد ناسلت.

فصل اول: مقدمه

۱-۱- کلیات

امروزه کاربرد تکنولوژی در زندگی بشراهمیت بسیار بالایی دارد، در این میان با پیشرفت سریع الکترونیک در چند دهه اخیر استفاده از لوازم الکترونیکی در تمامی ابعاد زندگی آدمی افزایش چشمگیری داشته است. به علت کمبود فضا و نیز نیاز به حمل و نقل آسان لوازم الکترونیکی، کاهش ابعاد این تجهیزات از اهداف اصلی تولید کنندگان آن می‌باشد. مشکل عمده ای که با کاهش ابعاد رخ می‌دهد، استفاده از مکانیزمی جهت دفع حرارت تولید شده دراین قطعات می‌باشد. لذا در سالهای اخیر استفاده از میکروکانال‌ها[1] بعنوان یک وسیله کاربردی مطرح شده و بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این سیستم ها از کارایی بیشتری نسبت به بقیه موارد در خنک سازی قطعات الکترونیکی برخوردار می‌باشند. از این رو تحقیقات بسیار زیادی برای یافتن روشهای موثر خنک کاری بر روی میکرو ماشینها و میکرو کانالها در حال انجام است. از آنجا که با کوچکتر شدن ابعاد خصوصیات جریان در کانالها تغییر می‌کند و سیال رقیق می‌شود لذا برای استفاده بهینه از آنها شناخت کامل از خصوصیات جریان سیال رقیق شده ضروری است. روش معمول برای خنک کاری قطعات الکترونیکی استفاده از تعداد زیادی کانال جریان با اندازه های مختلف ۱۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر در جامدی که معمولاً دارای ضریب هدایتی بالا بوده و اغلب از مس و سیلیکون و... ساخته شده است، می‌باشد. در این روش حرارت تولیدی توسط قطعه الکترونیکی ابتدا به صورت هدایتی به قطعه جامد و سپس به کانالها منتقل شده و ازآنجا به وسیله سیال خنک کننده که در داخل میکروکانالها جریان دارد خارج می‌گردد. تعداد زیادی از این میکروکانالها در کنار هم مصرف کننده‌های حرارتی میکروکانالی[2] را تشکیل می‌دهند؛ در این سیستم‌ها به علت بالا بودن نسبت سطح به ازای واحد حجم، مقدار انتقال حرارت تبادل یافته، افزایش

[1] Micro Channel
[2] Micro Channel Heat Sink

می‌یابد. سطح مؤثر، انتقال حرارت و راندمان بالای مبدلهای حرارتی میکروکانالی[1] باعث افزایش کاربرد آنها شده است. این مبدلها در عمل برای سرمایش قطعات الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند و میتوان از کاربرد آنها در دیودهای لیزری، کریستالهای منو کروماتور اشعه ایکس، کریستالهای مورد استفاده در دستگاه شتاب دهنده الکترونها، واحدهای پردازشگر مرکزی در سیستم‌های کامپیوتری بزرگ و سرعت بالا نام برد. از میکروکانالهای موجود در سیستمهای بیولوژیک نیز میتوان مویرگهای خونی را نام برد که در آنها سیال دیگر نیوتنی نبوده و رفتاری غیرنیوتنی دارد [۱ و ۲].

استفاده از راکتورهای میکروکانالی[2] برای تولید مواد نیز در سالهای اخیر، مورد توجه قرار گرفته است. بدین ترتیب که مواد واکنشگر وارد راکتورهای میکروکانالی شده و در طول میکروکانال واکنش مربوطه صورت گرفته و محصول موردنظر تولید می‌شود [۳].

از کاربردهای دیگر میکروکانال می‌توان به موارد زیر اشاره کرد :

میکروپمپ‌ها، پمپ‌هایی با ابعاد کوچک می‌باشند که در بعضی تجهیزات پزشکی، صنایع دارویی، فرایندهای شیمیایی و صنایع هوافضا کاربرد داشته و حرکت سیال در این پمپها مستلزم شرایط خاصی بوده و تحلیل حرکت سیالات در آنها با پمپهای ابعاد ماکرو متفاوت می‌باشد. در این پمپ‌ها از اختلاف دما بر روی سطوح (خزش دمایی)[3] و یا از باردار کردن سیال و استفاده از میدان الکتریکی[4] برای پمپاژ سیالات بهره برده می‌شود[۴]. سیستم‌های مکانیکی الکتریکی میکرو[5] نیز میکروکانالهایی هستند که به عنوان مسیر عبور سیال خنک کننده و سیال روانکار عمل می‌کنند. در سیستمها و تجهیزات روبوتیک نیز، میکروکانالها نقش مهم و حساسی را در خنک سازی و روانکاری قسمتهای مختلف دستگاه ایفا می‌کنند، همچنین در بعضی موارد از راکتورهای میکروکانال نیز برای تأمین انرژی سیستم استفاده می‌گردد.

۱-۲- میکروکانال‌ها

میکروکانال‌ها مجاری عبوری جریان با اندازه ۱۰ تا ۱۰۰ میکرومتر می‌باشند، که به دلیل بازده حرارتی بالا به طور وسیعی در صنایع مختلف به کار می‌روند؛ درواقع می‌توان گفت که میکروکانالها، کانالهایی با قطر هیدرولیکی پایین می‌باشند که در آنها فرضیات سیال پیوسته، معادلات پیوستگی، ممنتوم و انرژی، در یک محدوده خاص به تنهایی حاکم نبوده و در مرز مشترک سیال- جامد، پدیده‌هایی به صورت لغزش در دیواره و پرش دمایی رخ می‌دهد که برای استفاده از معادلات پیوستگی، ممنتوم و انرژی باید اصلاحاتی در این معادلات انجام داد.

میکروکانالها ازنظر شکل ظاهری مانند مجراهای مویین بوده که اثر موییِنگی در آنها دیده شده ، کشش سطحی در آنها مطرح می‌باشد اما به دلیل آنکه سیال با فشار وارد میکروکانال می‌شود، نیروی اینرسی بالا بوده و اثر پدیده موییِنگی ناچیز خواهد بود.

---

[1] Micro channel Heat Exchanger
[2] Micro channel Reactor
[3] Thermal creeping
[4] Electroosmotic and electrophoretic
[5] Micro Electro Mechanical System (MEMS)