

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک
گرایش تبدیل انرژی

عنوان پایان نامه

تحلیل عددی عملکرد حرارتی میکروکانال خنک کننده CPU

استاد راهنما:

دکتر تورج یوسفی

استاد مشاور :

دکتر مهرداد پاک نژاد

نگارش:

عرفان کاظمی موموندی

اسفند ماه ۱۳۹۳

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک
گرایش تبدیل انرژی

عرفان کاظمی موموندی

عنوان پایان نامه

تحلیل عددی عملکرد حرارتی میکروکانال خنک‌کننده CPU

در تاریخ ۱۳۹۳/۱۲/۱۲ توسط هیات داوران زیر بررسی و با درجه بسیارخوب به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما	دکتر تورج یوسفی	با مرتبه علمی دانشیار	امضاء
۲- استاد مشاور	دکتر مهرداد پاکنژاد	با مرتبه علمی استادیار	امضاء
۳- استاد ممتحن	دکتر حبیب اله صفرزاده	با مرتبه علمی استادیار	امضاء
۴- استاد ممتحن	دکتر فرزاد ویسی	با مرتبه علمی استادیار	امضاء

تشکر و قدردانی:

از جناب آقای دکتر یوسفی که طی انجام این پایان نامه با راهنمایی های خود مرا یاری نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از دوستان ارجمندم، مهندس امیر وجدانی و مهندس بهمن احتشامی که از کمک های فکری و عملی آن ها بهره بردم، صمیمانه تشکر می کنم.

همراه با سپاس فراوان، موفقیت این عزیزان را آرزو می کنم.

تقدیم به

پدرم، که حامی من در طول زندگیم بود،

مادرم، سنگ صبوری که الفبای زندگی را به من آموخت،

و همسرم که با همیاری و همدلی خود مشکلات مسیر را برایم تسهیل نمود.

چکیده

امروزه با توسعه صنایع الکترونیک و توجه به تکنیک‌های کوچک‌سازی قطعات الکترونیکی، توانایی دفع حرارت از این قطعات فاکتور مهمی در طراحی آن‌ها محسوب می‌شود. تکنیک‌های خنک‌سازی توسط جریان‌های گازی و روش‌های کلاسیک به نظر نمی‌رسد که قادر به برآورده کردن نیازهای سرمایشی موردنظر باشد. در نتیجه روش‌های نوینی برای خنک‌سازی این قطعات پیشنهاد شده‌اند که یکی از پرکاربردترین آن‌ها سیکل سرمایش میکرونی است. مهمترین بخش سیکل سرمایش میکرونی، اواپراتور آن است که باید توانایی برداشت حرارت زیادی را داشته باشد. میکروکانال‌ها به عنوان نمونه‌ای از میکرواواپراتورها بسیار مورد توجه بوده‌اند تا جایی که امروزه به یکی از مهمترین چالش‌های مهندسين برای بهبود عملکردشان تبدیل شده‌اند.

در پژوهش حاضر یک میکروکانال با مقطع مستطیل با داده‌های اولیه مشخص به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته است. جریان آرام، توسعه‌یافته و از آب به عنوان سیال کاری استفاده شده است. با توجه به وجود داده‌های تجربی برای بررسی نتایج به دست آمده از حل عددی، صحت کد عددی مربوطه مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب که ابتدا شبکه میکروکانال موردنظر در برنامه گمبیت ساخته شده و پس از بررسی استقلال نتایج از نحوه شبکه‌بندی، با استفاده از برنامه Ansys fluent 14 و با شبیه‌سازی کامل شرایط آزمایشگاهی (داده‌های ورودی به نرم‌افزار مانند دمای ورودی و شار گرمایی و...) مدل شده است. با استفاده از نتایج به دست آمده از حل عددی و مقایسه با نتایج تجربی، مشخص شد که تفاوت دمای خروجی میکروکانال خطایی در حدود 0.5 درصد به همراه دارد؛ بنابراین صحت حل عددی مورد تایید می‌باشد. در مرحله‌ی بعد با در نظر گرفتن این که عرض پره ثابت فرض شود، با تغییر عرض میکروکانال (از $146\mu\text{m}$ تا $493\mu\text{m}$) تاثیر انواع مقاطع ایجاد شده در عملکرد میکروکانال مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر تغییرات هندسی، تغییرات جریان نیز مورد نظر بوده و نتایج در اعداد رینولدز ورودی متفاوت (100 تا 600) نیز به دست آمده‌اند. با در نظر گرفتن پارامترهای هندسی، هیدرودینامیکی و حرارتی برای هر حالت، ضریب انتقال حرارت، افت فشار و همچنین تولید انترپی محاسبه شده است تا بتوان مبنایی برای حالت مناسب با توجه به نتایج حل عددی و تحلیل انرژی به دست آورد.

نتایج کمینه‌سازی تولید انترپی نشان می‌دهد که حالتی که در آن به طور همزمان ضریب انتقال حرارت، بیشترین و افت فشار و تولید انترپی، کمترین باشد، وجود ندارد؛ ولی بهینه‌ترین حالت در رینولدز 300 و عرض میکروکانال $146\mu\text{m}$ می‌باشد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱.....	۱ فصل اول
۲.....	۱-۱ مروری بر MEMS
۴.....	۱-۱-۱ تجهیزات و ویژگی های فناوری MEMS
۵.....	۲-۱-۱ فرآیندهای ساخت MEMS
۵.....	۱-۲-۱-۱ میکروماشینی سازی کپه ای
۷.....	۲-۲-۱-۱ میکروماشینی سازی سطحی
۱۰.....	۳-۱-۱ کاربردهای فناوری MEMS
۱۱.....	۲-۱ سیکل سرمایه‌ش میکرونی
۱۲.....	۱-۲-۱ میکروپمپ
۱۴.....	۲-۲-۱ میکروکندانسورها
۱۴.....	۱-۲-۲-۱ روش کلاسیک
۱۴.....	۲-۲-۲-۱ چاه حرارتی با نیتروژن مایع
۱۵.....	۳-۲-۲-۱ آلیاژهای با درجه ذوب پایین
۱۵.....	۴-۲-۲-۱ لوله های گرمایی (heat pipes)
۱۷.....	۳-۲-۱ میکرو اواپراتورها
۱۷.....	۱-۳-۲-۱ میکروسیستم الکترو هیدرودینامیکی
۱۸.....	۲-۳-۲-۱ میکرولوله موئین
۱۹.....	۳-۳-۲-۱ برخورد جت سیال
۲۰.....	۴-۳-۲-۱ میکرولوله گرمایی
۲۱.....	۲ فصل دوم
۲۲.....	۱-۲ میکروکانال ها
۲۲.....	۱-۱-۲ مقدمه
۲۳.....	۲-۱-۲ مزایا
۲۳.....	۳-۱-۲ دسته بندی کانال ها
۲۴.....	۴-۱-۲ اعتبار تئوری پیوستگی در میکروکانال ها
۲۵.....	۵-۱-۲ بهینه سازی جریان و انتقال حرارت در میکروکانال ها
۲۵.....	۱-۵-۱-۲ سیال عامل
۲۶.....	۲-۵-۱-۲ رژیم جریان؛ رینولدز گذار
۲۶.....	۳-۵-۱-۲ افت فشار
۲۷.....	۴-۵-۱-۲ زبری نسبی

۲۸	..... توسعه یافتگی هیدرودینامیکی و حرارتی
۲۹	..... هندسه میکروکانال
۳۰	..... کارهای انجام شده در رابطه با جریان و انتقال حرارت در میکروکانال ها
۳۳	..... تحلیل اگزرژی
۳۴	..... مفهوم اگزرژی
۳۵	..... محیط
۳۵	..... محیط به صورت یک منبع حرارتی در دمای T_0
۳۵	..... محیط به عنوان یک منبع غیر قابل استفاده کار
۳۵	..... محیط به عنوان یک منبع ماده با پتانسیل شیمیایی پایین در تعادل پایدار
۳۶	..... تعادل
۳۶	..... حالت محیطی (محدود)
۳۷	..... حالت مرده (نامحدود)
۳۷	..... اگزرژی جریانی (Ψ)
۳۷	..... اگزرژی جریان پایا و مولفه های آن
۳۹	..... اصل افزایش انتروپی
۳۹	..... قضیه گوی - استودلا
۴۰	..... مروری بر کارهای انجام شده در تحلیل اگزرژی میکروکانال ها
۴۳	..... هدف
۴۵	..... فصل سوم
۴۶	..... استراتژی
۴۶	..... هندسه میکروکانال
۴۶	..... میکروکانال به کار گرفته شده در آزمایشگاه
۴۹	..... ابعاد به کار گرفته شده در حل عددی
۵۰	..... سیال عامل
۵۳	..... رژیم جریان
۵۳	..... رژیم جریان در میکروکانال به کار گرفته شده در آزمایشگاه
۵۴	..... رژیم جریان در ابعاد به کار گرفته شده در حل عددی
۵۵	..... توسعه یافتگی هیدرودینامیکی و حرارتی
۵۵	..... طول ورودی هیدرودینامیکی و حرارتی در میکروکانال به کار گرفته شده در آزمایشگاه
۵۵	..... طول ورودی هیدرودینامیکی و حرارتی در ابعاد به کار گرفته شده در حل عددی
۵۷	..... فرضیات حل
۵۷	..... معادلات حاکم
۶۰	..... فصل چهارم
۶۱	..... مقدمه ای بر دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)

۶۱	۱-۱-۴ کاربردهای CFD
۶۲	۲-۱-۴ اهمیت استفاده از CFD
۶۲	۳-۱-۴ فرآیند حل یک مسئله با استفاده از نرم افزار CFD
۶۳	۱-۳-۱-۴ پیش پردازنده
۶۳	۲-۳-۱-۴ حلگر
۶۵	۳-۳-۱-۴ پس پردازنده
۶۶	۲-۴ میدان محاسباتی
۶۶	۳-۴ تولید شبکه
۶۷	۱-۳-۴ نحوه شبکه بندی در گمبیت
۶۸	۲-۳-۴ تعیین شرایط مرزی و نوع محیط
۶۹	۳-۳-۴ بررسی استقلال حل از شبکه
۷۲	۴-۴ حل عددی معادلات حاکم
۷۲	۱-۴-۴ معادله عمومی انتقال کمیت عددی Φ
۷۳	۲-۴-۴ انتخاب حلگر و الگوریتم جفت کننده فشار و سرعت
۷۹	۳-۴-۴ همگرایی
۸۰	۴-۴-۴ پایداری
۸۱	۵-۴ اعتبارسنجی حل عددی
۸۲	۵ فصل پنجم
۸۳	۱-۵ مقدمه
۸۴	۲-۵ مشخصات هیدرودینامیکی
۸۴	۱-۲-۵ مشخصات هیدرودینامیکی بر روی صفحه x-center
۸۴	۱-۱-۲-۵ کانتورهای سرعت بی بعد بر روی صفحه x-center
۸۶	۲-۱-۲-۵ پروفیل سرعت
۸۹	۲-۲-۵ مشخصات هیدرودینامیکی بر روی صفحه y-center
۹۳	۳-۲-۵ تاثیر هندسه بر پروفیل سرعت بی بعد
۹۴	۴-۲-۵ پروفیل سرعت سه بعدی
۹۷	۳-۵ مشخصات حرارتی
۹۷	۱-۳-۵ مشخصات حرارتی بر روی صفحه x-center
۹۹	۲-۳-۵ مشخصات حرارتی بر روی صفحه y-center
۹۹	۱-۲-۳-۵ کانتورهای دما بر روی صفحه y-center
۱۰۱	۲-۲-۳-۵ پروفیل دمای بی بعد بر روی صفحه y-center
۱۰۴	۳-۳-۵ کانتور دما در ناحیه جامد
۱۰۴	۴-۵ افت فشار
۱۰۷	۵-۵ ضریب انتقال حرارت
۱۰۷	۱-۵-۵ ضریب انتقال حرارت جابجایی محلی

- ۱۰۹ ۲-۵-۵ ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط
- ۱۱۰ ۶-۵ تولید انتروپی
- ۱۱۴ ۷-۵ نتیجه گیری
- ۱۱۵ ۸-۵ پیشنهادات

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۳	شکل ۱-۱ قانون مور [۳].....
۶	شکل ۲-۱ ساخت حفره نیمکره با زدایش همسانگرد [۱].....
۶	شکل ۳-۱ زدایش همسانگرد و ناهمسانگرد [۱].....
۷	شکل ۴-۱ مراحل ساخت یک سگدست [۱].....
۹	شکل ۵-۱ مراحل فرآیند لیگا (LIGA) [۱].....
۱۱	شکل ۶-۱ سیکل سرمایه‌ش میکرونی.....
۱۲	شکل ۷-۱ محدوده کاربرد میکروپمپ‌های مکانیکی و غیرمکانیکی [۲].....
۱۳	شکل ۸-۱ محدوده کاربرد انواع میکروپمپ‌ها [۲].....
۱۵	شکل ۹-۱ شمایی از یک لوله حرارتی.....
۱۷	شکل ۱۰-۱ طرح شماتیک میکروسیستم الکترو هیدرودینامیکی [۲].....
۱۹	شکل ۱۱-۱ شمایی از یک میکرولوله موین.....
۱۹	شکل ۱۲-۱ برخورد جت سیال [۲].....
۲۰	شکل ۱۳-۱ میکرولوله گرمایی.....
۲۹	شکل ۱-۲ هندسه‌های مورد استفاده در میکروکانال‌ها [۹].....
۴۰	شکل ۲-۲ ارتباط کمینه‌سازی تولید انتروپی با شاخه‌های مکانیک سیالات.....
۴۱	شکل ۳-۲ تولید انتروپی بی بعد بر حسب رینولدز برای مساحت‌های مقطع متفاوت.....
۴۳	شکل ۴-۲ تولید انتروپی بی بعد بر حسب قطر هیدرولیک [۹].....
۴۷	شکل ۱-۳ نمای بالای میکروکانال.....
۴۷	شکل ۲-۳ نمای جلوی میکروکانال.....
۴۸	شکل ۳-۳ صفحه زیرین میکروکانال.....
۴۸	شکل ۴-۳ طرح شماتیک میکروکانال.....
۵۱	شکل ۵-۳ مقایسه ضریب انتقال حرارت آب با هوا [۵].....
۵۱	شکل ۶-۳ مقایسه افت فشار آب با هوا [۵].....
۶۶	شکل ۱-۴ طرح شماتیک میدان محاسباتی.....
۶۷	شکل ۲-۴ شبکه بندی میکروکانال در محیط گمبیت.....
۷۰	شکل ۳-۴ نمودار دما در انواع شبکه‌ها.....
۷۱	شکل ۴-۴ نمودار سرعت در انواع شبکه‌ها.....
۷۱	شکل ۵-۴ محدوده میانی نمودار سرعت در انواع شبکه‌ها.....
۷۵	شکل ۶-۴ حجم کنترل به کار گرفته شده در الگوریتم SIPMLEC [۳۸].....
۷۷	شکل ۷-۴ الگوریتم روش SIMLPEC.....
۸۴	شکل ۱-۵ صفحات مرکزی میکروکانال.....
۸۵	شکل ۲-۵ کانتورهای سرعت بی بعد بر روی صفحه x-center، (الف): n=40، ب: n=50، ج: n=60، د: n=69، ه: n=80.....
۸۶	شکل ۳-۵ پروفیل‌های سرعت در صفحه yz برای ۴۰ کانال.....

- شکل ۴-۵ پروفیل های سرعت در صفحه yz برای ۵۰ کانال ۸۷
- شکل ۵-۵ پروفیل های سرعت در صفحه yz برای ۶۰ کانال ۸۷
- شکل ۶-۵ پروفیل های سرعت در صفحه yz برای ۶۹ کانال ۸۸
- شکل ۷-۵ پروفیل های سرعت در صفحه yz برای ۸۰ کانال ۸۸
- شکل ۸-۵ کانتورهای سرعت بی بعد بر روی صفحه y-center, (الف: n=40: ب: n=50: ج: n=60: د: n=69: ه: n=80) ۹۰
- شکل ۹-۵ پروفیل های سرعت در صفحه xz برای ۴۰ کانال ۹۱
- شکل ۱۰-۵ پروفیل های سرعت در صفحه xz برای ۵۰ کانال ۹۱
- شکل ۱۱-۵ پروفیل های سرعت در صفحه xz برای ۶۰ کانال ۹۲
- شکل ۱۲-۵ پروفیل های سرعت در صفحه xz برای ۶۹ کانال ۹۲
- شکل ۱۳-۵ پروفیل های سرعت در صفحه xz برای ۸۰ کانال ۹۳
- شکل ۱۴-۵ پروفیل سرعت بی بعد بر روی خط z=15mm ۹۴
- شکل ۱۵-۵ پروفیل سرعت سه بعدی بر روی صفحه z-center برای ۴۰ کانال ۹۵
- شکل ۱۶-۵ پروفیل سرعت سه بعدی بر روی صفحه z-center برای ۵۰ کانال ۹۵
- شکل ۱۷-۵ پروفیل سرعت سه بعدی بر روی صفحه z-center برای ۶۰ کانال ۹۶
- شکل ۱۸-۵ پروفیل سرعت سه بعدی بر روی صفحه z-center برای ۶۹ کانال ۹۶
- شکل ۱۹-۵ پروفیل سرعت سه بعدی بر روی صفحه z-center برای ۸۰ کانال ۹۷
- شکل ۲۰-۵ کانتورهای دما بر روی صفحه x-center, (الف: n=40: ب: n=50: ج: n=60: د: n=69: ه: n=80) ۹۸
- شکل ۲۱-۵ کانتورهای دما بر روی صفحه y-center, (الف: n=40: ب: n=50: ج: n=60: د: n=69: ه: n=80) ۱۰۰
- شکل ۲۲-۵ پروفیل های دمای بی بعد در صفحه xz برای ۴۰ کانال ۱۰۲
- شکل ۲۳-۵ پروفیل های دمای بی بعد در صفحه xz برای ۵۰ کانال ۱۰۲
- شکل ۲۴-۵ پروفیل های دمای بی بعد در صفحه xz برای ۶۰ کانال ۱۰۳
- شکل ۲۵-۵ پروفیل های دمای بی بعد در صفحه xz برای ۶۹ کانال ۱۰۳
- شکل ۲۶-۵ پروفیل های دمای بی بعد در صفحه xz برای ۸۰ کانال ۱۰۴
- شکل ۲۷-۵ مقایسه کانتور دما در ناحیه جامد و سیال ۱۰۴
- شکل ۲۸-۵ افت فشار در طول کانال برای تعداد کانال های مختلف ۱۰۵
- شکل ۲۹-۵ افت فشار بر حسب رینولدز برای تعداد کانال های مختلف ۱۰۶
- شکل ۳۰-۵ نسبت توان بر حسب رینولدز برای تعداد کانال های مختلف ۱۰۷
- شکل ۳۱-۵ ضریب انتقال حرارت جابجایی بر روی دیوار زیرین کانال برای ۴۰ کانال ۱۰۸
- شکل ۳۲-۵ ضریب انتقال حرارت جابجایی بر روی دیوار زیرین کانال برای ۵۰ کانال ۱۰۸
- شکل ۳۳-۵ ضریب انتقال حرارت جابجایی بر روی دیوار زیرین کانال برای ۶۰ کانال ۱۰۸
- شکل ۳۴-۵ ضریب انتقال حرارت جابجایی بر روی دیوار زیرین کانال برای ۶۹ کانال ۱۰۹
- شکل ۳۵-۵ ضریب انتقال حرارت جابجایی بر روی دیوار زیرین کانال برای ۸۰ کانال ۱۰۹
- شکل ۳۶-۵ ضریب انتقال حرارت جابجایی بر حسب رینولدز برای تعداد کانال های مختلف ۱۱۰
- شکل ۳۷-۵ تولید انترویی بر حسب رینولدز برای تعداد کانال های مختلف ۱۱۲
- شکل ۳۸-۵ تولید انترویی بی بعد بر حسب رینولدز برای تعداد کانالهای مختلف ۱۱۲

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱ انواع پمپ ها و محدوده دبی و اختلاف فشار آن ها [۲].....	۱۳
جدول ۲-۱ مزایا و معایب انواع روش های گرماگیری از سیال.....	۱۶
جدول ۱-۲ دسته بندی کانال ها [۵].....	۲۴
جدول ۲-۲ مقایسه انرژی و انرژی.....	۳۴
جدول ۱-۳ ابعاد میکروکانال آزمایش شده در دانشگاه رایسون کانادا.....	۴۹
جدول ۲-۳ ابعاد کانال های به کار گرفته شده در حل عددی.....	۵۰
جدول ۳-۳ خواص آب.....	۵۳
جدول ۴-۳ بزرگترین طول های ورودی هیدرودینامیکی و حرارتی برای هندسه ها در حل عددی.....	۵۶
جدول ۱-۴ شرایط مرزی میکروکانال پژوهش حاضر.....	۶۹
جدول ۲-۴ انواع شبکه ها برای بررسی استقلال حل از شبکه.....	۷۰
جدول ۳-۴ نتایج تجربی جهت اعتبارسنجی حل عددی.....	۸۱

حروف یونانی		کوتاه‌نوشت‌ها	
		عرض	w
		ارتفاع	H
چگالی	ρ	مساحت	A
ویسکوزیته دینامیکی	μ	طول	L
فاصله آزاد میانگین مولکولی	λ	تعداد کانال‌ها	n
اتلاف ویسکوز	Φ	قطر هیدرولیک	D_h
ضریب پخش حرارتی	α	محیط تر شده	p
	زیر نویس‌ها	دما	T
ورودی	<i>in</i>	فشار، توان	P
خروجی	<i>out</i>	حجم	V
توسعه یافته	<i>fd</i>	ظرفیت حرارتی ویژه	c_p
کانال	<i>c</i>	ضریب انتقال حرارت	h
زیر لایه	<i>sub</i>	ضریب رسانایی حرارتی	k
پره	<i>f</i>	دبی جرمی	\dot{m}
متوسط	<i>m</i>	زبری نسبی	e
		ضریب اصطکاک داریسی	f
		عدد رینولدز	Re
		عدد پرانتل	Pr
		عدد ناسلت	Nu
		عدد نادسن	Kn
		ثابت جهانی گازها	R
		شار حرارتی	q''
		نرخ انتقال حرارت	\dot{Q}
		انتروپی	s
		نرخ تولید انتروپی	\dot{S}_{gen}
		تولید انتروپی بی‌بعد	ψ
		اگرژی	Ex
		بازگشت‌ناپذیری	I
		زمان	t

پیشگفتار

امروزه نیاز به دسترسی بالا در اندک زمان ممکن، باعث پیشرفت چشمگیری در تکنولوژی تولید قطعات الکترونیکی و سیستم‌های الکترونیکی شده است. افزایش سرعت و حجم داده‌ها موجب افزایش شار حرارتی می‌شود. این حرارت بوجود آمده باید از سیستم خارج کرد تا از سرعت پردازش داده‌ها کاسته نشود. میکروکانال‌ها به عنوان نمونه‌ای از مبدل‌های حرارتی، کاربردهای جدیدی در صنایع متنوع پیدا کرده‌اند و به عنوان یک راه حل امیدوار کننده برای بهبود فناوری در طراحی و راه اندازی نسل بعدی سیستم‌های مدیریت حرارتی با کارایی بالا به در حال ظهور هستند. اولین بار در سال ۱۹۸۱ تاکرمین و پیس^۱ [۱] میکروکانالی مستطیل شکل در ویفر سیلیکون ساختند و از آب به عنوان مایع خنک‌کننده استفاده کردند و نشان دادند در حالتی که اختلاف دمای آب و زیرلایه $71^{\circ}C$ باشد، می‌توان بیش از $790W/m^2$ حرارت را دفع کرد. مطالعه آن‌ها سرآغازی برای تحقیقات بیشتر در میکروکانال‌ها بود که منجر به پیشرفت عظیمی در بهبود روش‌های خنک‌سازی قطعات الکترونیکی شد.

در پژوهش حاضر سعی بر آن شده است که با تغییر ابعاد میکروکانال و تغییر رینولدز ورودی (دبی ورودی)، پارامترهای موثر در عملکرد میکروکانال، تعیین و توسط آن‌ها و نتایج تولید انترپوی، حالت مناسب را مشخص نمود.

در فصل اول به معرفی سیستم‌های میکروالکترومکانیکی و مشخصاً سیکل سرمایش میکرونی و اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن پرداخته می‌شود.

در فصل دوم توضیحات جامعی در مورد میکروکانال‌ها و پارامترهای موثر در عملکرد آن داده می‌شود و روش تولید انترپوی نیز معرفی می‌شود و در انتها تعدادی از کارهای انجام گرفته در رابطه با بررسی جریان و انتقال حرارت و تولید انترپوی در میکروکانال‌ها ذکر می‌گردد و در انتها هدف مسئله حاضر بیان می‌شود.

در فصل سوم به معرفی مسئله حاضر و ابعاد مختلف و رینولدزهای ورودی پرداخته می‌شود و فرضیات حل و معادلات حاکم نیز بیان می‌شوند.

در فصل چهارم نحوه شبکه‌بندی میکروکانال و شبیه‌سازی آن با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه شرح داده می‌شود. الگوریتم حل عددی مورد بررسی قرار گرفته و در انتها جهت اعتبار سنجی حل عددی، نتایج حل عددی اولیه با نتایج تجربی مقایسه می‌شوند.

در فصل پنجم و پایانی نتایج حل عددی ذکر شده و با مقایسه پارامترهای مهم، حالت مناسب تعیین می‌-

^۱Tuckerman and Peace

شود و در انتها پیشنهاداتی برای بهتر شدن نتایج ارائه می‌شود.

فصل اول

مروری بر فناوری MEMS و سیکل سرمایه‌گذاری

میکرونی

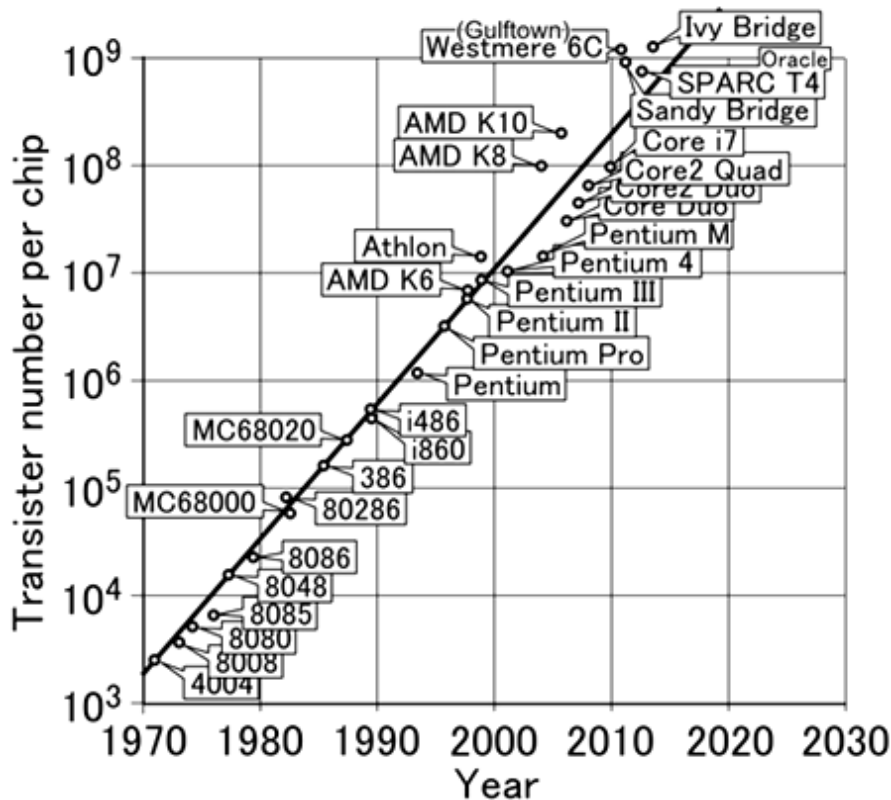
در این فصل به بررسی کلی سیستم های میکروالکترومکانیکی (MEMS) می پردازیم. توضیحات مختصری در مورد ویژگی ها، نحوه ساخت و کاربرد این سیستم ها آورده شده [۱] و در ادامه سیکل سرمایه میکرونی به عنوان یکی از پرکاربردترین MEMS ها شرح داده می شود [۲]. مهمترین جز این سیکل، میکرواوپراتورها هستند که عموماً با نام میکروکانال ها شناخته می شوند و اکثر تحقیقات برای بهینه سازی سیکل، روی آن ها انجام گرفته است.

۱-۱ مروری بر MEMS

یکی از شاخه های جدیدی که هم اکنون در علم و تکنولوژی جایگاه ویژه ای را به دست آورده است، شاخه ای تحت عنوان MEMS می باشد. MEMS مخفف کلمه Micro Electro Mechanical System و به معنی میکروسیستم های الکترومکانیکی است. اهمیت این شاخه از علم و فناوری به حدی است که دانشمندان از آن به عنوان قدم منطقی و هوشمندانه بعدی در علم و به خصوص نیمه هادی ها یاد می کنند.

انقلاب سیلیکون ها و نیمه هادی ها از چند دهه قبل و با معرفی نخستین مدار مجتمع آغاز شد و توانست زندگی انسان را به طور کلی دگرگون سازد. در طی چند دهه، این انقلاب به گونه ای پیشرفت کرده که توانایی قرار دادن چندین میلیون ترانزیستور در داخل یک مدار مجتمع را برای دانشمندان فراهم ساخت. انقلاب سیلیکون ها از همینجا پایه ریزی شد و توانست تحول چشمگیری در تکنولوژی بوجود آورد و باعث افزایش مداوم و روزافزون توانایی و کارایی مدارات مجتمع گردید. به طوری که بر اساس پیش بینی مور^۱، تعداد ترانزیستور در هر تراشه هر ۱۸ ماه، دو برابر می شود [۳]. در نتیجه این تحول، سیستم های بزرگ و گران-قیمت با گذشت زمان، مبدل به سیستم های کوچک، ارزان قیمت و با کارایی بالا گردید.

^۱ Moore



شکل ۱-۱ قانون مور [۳]

در دهه کنونی و در ادامه این پیشرفت‌ها مشاهده می‌شود که تولید مدارهای مجتمع میکروالکترونیکی امری غیر قابل اجتناب است. به جرات می‌توان گفت قدم بعدی در انقلاب نیمه‌هادی‌ها بسیار متفاوت و مهم‌تر خواهد بود و همین امر لزوم توجه به این شاخه را بیشتر مشخص می‌سازد.

به طور کلی می‌توان گفت که MEMS با استفاده از سیستم‌های میکروالکترونیکی کنونی، سعی در تولید ماشین‌های پیچیده در مقیاس میکرو دارد. امروزه امکانات قابل توجه و تکنیک‌های ساخت و تولید لیزری باعث شده است که رسیدن به این هدف امری دور از ذهن نباشد و پیشرفت‌های چشمگیری در این زمینه به دست آید. پایه و اساس دستگاه‌های مکانیکی در ابعاد میکرونی بر دو عنصر حسگرها و فعال‌کننده‌ها استوار می‌باشد. از ترکیب این دو عنصر می‌توان دستگاه‌هایی در ابعاد بسیار کوچک تولید نمود و دلیل اصلی پیشرفت سریع این دانش در کوچک بودن ابعاد آن می‌باشد. بدون شک این خصوصیت می‌تواند کاربرد این فناوری را در تمامی صنایع و علوم، مشخص و حیاتی نماید [۱].