دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

تحلیل ساختاری جریان و انتقال حرارت در میکرو کانال‌های جاذب حرارت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی

مرتضی شریف حسن

استاد راهنما

دکتر محمدرضا سلیم پور

۱۳۸۹

به نام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

تحلیل ساختاری جریان و انتقال حرارت در میکرو کانال‌های جاذب حرارت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی

مرتضی شریف حسن

استاد راهنما

دکتر محمدرضا سلیم پور

۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک – تبدل انرژی آقای مرتضی شریف حسن

تحت عنوان

تحلیل ساختاری جریان و انتقال حرارت در میکرو کانال‌های جاذب حرارت

در تاریخ ۸۹/۱۲/۲۱ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محمدرضا سلیم پور
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر ابراهیم شیرانی
۳- استاد داور	دکتر محسن دوازده امامی
۴- استاد داور	دکتر احمد صابونچی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر سعید ضیایی راد

هیچ پاداشی برای انسان نیست مگر به اندازه تلاش و کوشش خود او

(قرآن کریم، سوره نجم، آیه ۳۹)

سپاس بی پایان خدای را که عطش دانش اندوزی در جانم شعله ور کرد و مرا در کسب دانش کمک و یاری نمود

من بی تو دمی قرار نتوانم کرد　　احسان تو اشمار نتوانم کرد

گر بر تن من زبان شود هر مویی　　یک شکر تو از هزار نتوانم کرد

نهایت تشکر و سپاسگزاری را از اساتید گرامی، جناب آقای دکتر سلیم پور و جناب آقای دکتر شیرانی دارم که همواره از راهنمایی های ارزنده ایشان بهره مند بودم و زبان خود را در بیان تشکر قاصر می بینم و کلام را به دست سعدی می سپارم که می فرماید

چون شبنم او فتاده بدم پیش آفتاب　　مهرم به جان رسید و به عیوق بر شدم

از دوستان عزیزم آقایان رامین براری، هاشم معصومی، محسن لاهوتی، علی جعفریان، محمد خلیل زاده، حسین و احسان فتحی، ایمان داوودی، ابوالفضل حدادزاده، مصطفی مهاجر زاده، هادی تقی پوران، مهدی زارعی، مهدی سلیمی، مهندس!! احسان زرمهری، رضا مرادی، رضا رمضان پور، مرتضی صفایی، مجتبی میر حسینی، میلاد ظهیر، فرخ شریفی، ایمان حریمی، دلیر منبری، جلال دارابی، هاشم آذرپیرا، بهادر امیر مشهدی، رضا بابایی، حمید اسماعیلی، امیر صدرالدینی، میثم سبز علی پور، امیر توکلی، حامد صدیقی که لحظات خوشی را در این مدت در کنار یکدیگر گذرانده ایم سپاسگزارم و از خداوند منان برایشان آرزوی سلامتی و توفیق روز افزون را دارم.

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

مادرم برای مهربانی هایش

پدرم برای فداکاری هایش

خواهران و برادر عزیزم برای حمایت هایشان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ میکرو کانال جاذب حرارت ۲

۱-۲ تئوری ساختاری ۵

۱-۳ EDL ۷

۱-۴ کار حاضر ۹

فصل دوم: بهینه سازی چیدمان میکرو کانال‌ها

۲-۱ مقدمه ۱۱

۲-۲ شرح مساله ۱۱

۲-۳ حل تحلیلی (آنالیز تقریبی) ۱۲

۲-۳-۱ کانال‌ها یا مجراهای کوچک ۱۲

۲-۳-۲ کانالها یا مجراهای بزرگ ۱۴

۲-۳-۳ اندازه بهینه کانال ۱۵

۲-۴ مدل ریاضی و فرمول بندی ۱۷

۲-۵ روش عددی و صحت سنجی ۱۹

۲-۶ نتایج و بحث ۱۹

فصل سوم : بهینه سازی هندسی میکرو کانال‌های جاذب حرارت با سطح مقطع‌های متفاوت

۳-۱ مقدمه ۲۶

۳-۲ شرح مساله ۲۶

۳-۳ پارامترها و قیود بهینه سازی ۲۷

۳-۴ حل تحلیلی(آنالیز تقریبی) ۲۹

۳-۴-۱ کانال کوچک ۲۹

۳-۴-۲ کانال بزرگ ۳۰

۳-۴-۳ اندازه بهینه کانال ۳۰

۳-۵ حل عددی ۳۲

۳-۵-۱ مدل فیزیکی و دامنه حل ۳۲

۳-۵-۲ معادلات حاکم و شرایط مرزی ۳۲

۳-۶ روش عددی و صحت سنجی ۳۳

۳-۷ نتایج و بحث ۳۴

فصل چهارم :اثر درجات آزادی بر شکل بهینه میکروکانال جاذب حرارت با سطح مقطع مستطیلی

۴-۱ مقدمه ۴۶
۴-۲ هدف ۴۷
۴-۲-۱ بررسی اثر درجات آزادی بر هندسه بهینه کانال ۴۷
۴-۲-۲ تغییرخواص ترمو فیزیکی آب با دما ۴۷
۴-۳ کلیات ۴۷
۴-۳-۱ تغییرات خواص آب با دما ۴۸
۴-۴ نتایج و بحث ۵۰
۴-۴-۱ اثر تغییرات خواص بر مشخصه‌های انتقال حرارت ۵۰
۴-۴-۲ اثر درجات آزادی بر هندسه بهینه کانال ۵۲

فصل پنجم : شکل بهینه میکروکانال جاذب حرارت مستطیلی با در نظر گرفتن اثر EDL

۵-۱ مقدمه ۵۷
۵-۲ معادلات حاکم ۵۸
۵-۲-۱ معادله پواسون - بولتزمن ۵۸
۵-۲-۲ مدل سازی جریان های الکتروسینتیک در میکروکانالهای مستطیلی ۵۹
۵-۲-۳ میدان EDL درمیکروکانال‌های مستطیلی ۶۰
۵-۲-۴ میدان الکتروستینتیک در میکروکانال‌های مستطیلی ۶۲
۵-۲-۵ میدان جریان در میکروکانال‌های مستطیلی ۶۳
۵-۲-۶ محاسبه سرعت میانگین و دبی حجمی ۶۶
۵-۲-۷ اثرات الکترو ویسکوز ۶۷
۵-۲-۸ معادلهٔ انرژی ۶۷
۵-۳ شرایط حاکم بر مسأله و حل عددی آن ۶۹
۵-۳-۱ حل معادله پواسن- بولتزمن ۶۹
۵-۳-۲ شکل تفاضلی معادله مومنتوم ۷۴
۵-۳-۳ شکل تفاضلی معادله انرژی ۷۶
۵-۳-۴ بررسی صحت سنجی واستقلال شبکه ۷۹
۵-۴ نتایج و بحث ۷۹

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه گیری ۸۴
۶-۲ پیشنهادات ۸۶
مراجع ۸۸

چکیده

با رشد و توسعه سریع در تکنولوژی محاسباتی، تجهیزات الکترونیکی علاوه بر کوچکتر شدن و تجمع بیشتر پیشرفته تر نیز شدند. اما این کوچک سازی و تجمع گرمای بیشتری به ازای واحد سطح تولید می‌کند. در نتیجه دمای کاری اجزای الکترونیکی ممکن است از سطح دمای مطلوب بیشتر شود. از آنجائیکه عملکرد این تجهیزات رابطه مستقیمی با دما دارد، نگه داشتن آن‌ها در سطح دمای قابل قبول بسیار مهم است. ایده‌های زیادی برای بهبود تکنولوژی خنک کاری تجهیزات الکترونیکی با تولید شار حرارتی بالا و اندازه فشرده پیشنهاد شده است. از میان این ایده‌ها، میکروکانال جاذب حرارت به علت ضریب انتقال حرارت بالا و نیاز به ماده مبرد کم توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. در بهینه سازی میکروکانال‌ها از الگوریتم‌ها و روش‌های مختلفی استفاده می‌شود؛ یکی از این روش‌ها، تئوری ساختاری می‌باشد. به علت اثر مهم میدان الکتروسینتیک در جریان‌های میکرو و نانو، این اثر در مدل سازی این نوع جریان‌ها باید در نظر گرفته شود. در پژوهش حاضر در بخش اول به صورت تحلیلی و عددی اندازهٔ بهینه مسیر برای کانال‌هایی با سطح مقطع مربع، دایره و مثلث متساوی الساقین راست گوشه به نحوی تعیین شد که چیدمان میکروکانال‌ها بیشترین انتقال حرارت را در واحد حجم داشته باشد. در بخش دوم ابتدا هندسه بهینه میکروکانال‌های جاذب حرارت با سطح مقطع مستطیل، بیضی و مثلث به نحوی تعیین شد که مقاومت حرارتی کل مینیمم شود. سپس میکروکانال‌های جاذب حرارت ذکر شده در حالت بهینه با هم مقایسه شدند. در بخش سوم اثر درجات آزادی بر هندسه بهینه میکروکانال جاذب حرارت مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت در بخش چهارم هندسه بهینه میکرو کانال جاذب حرارت با وجود اثر میدان الکتروسینتیک تعیین شد.

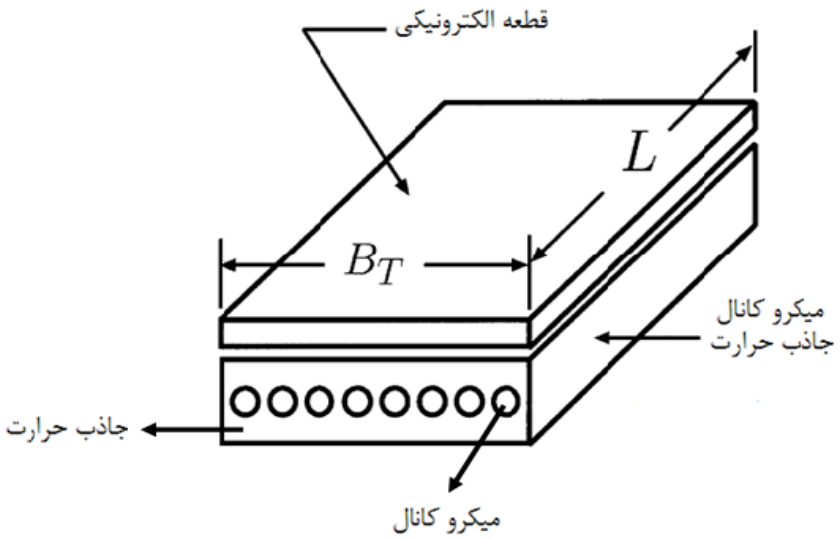
کلمات کلیدی: ۱-ساختاری ۲-میکروکانال غیر دایره‌ای ۳-جاذب حرارت ۴-شکل بهینه ۵-میدان الکتروسینتیک

فصل اول
مقدمه

۱-۱ میکرو کانال جاذب حرارت

با رشد و توسعه سریع در تکنولوژی محاسباتی در دو دهه گذشته، تجهیزات الکترونیکی علاوه بر کوچکتر شدن و تجمع بیشتر، پیشرفته تر نیز شده‌اند. اما این کوچک سازی و یکپارچگی قطعات الکترونیکی گرمای بیشتری به ازای واحد سطح تولید می‌کند. در نتیجه دمای کاری اجزای الکترونیکی ممکن است از سطح دمای مطلوب بیشتر شود. از آنجائیکه عملکرد این تجهیزات رابطه مستقیمی با دما دارد، نگه داشتن آن‌ها در سطح دمای قابل قبول بسیار مهم است. ایده‌های زیادی برای بهبود تکنولوژی خنک کاری تجهیزات الکترونیکی با تولید شار حرارتی بالا پیشنهاد شده است. از میان این ایده‌ها، میکروکانال جاذب حرارت[1] به علت ضریب انتقال حرارت بالا و نیاز به ماده مبرد کم توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. میکروکانال‌های جاذب حرارت معمولاً از یک ماده با ضریب رسانش گرمایی بالا مانند سیلیکون یا مس ساخته می‌شوند، که داخل آن‌ها میکروکانال‌هایی به وسیله ماشینکاری دقیق یا تکنولوژی میکرو ایجاد می‌شود. قطر هیدرولیکی میکروکانال‌های ایجاد شده در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰۰ μm می‌باشد، شکل ۱-۱.

[1]-Micro-channel heat sink



شکل ۱-۱ شماتیک میکرو کانال جاذب حرارت

روش استفاده از میکروکانال‌های جاذب حرارت برای اولین بار توسط تاکرمن[۱] و پیز[۲] [۱و۲] در اوایل دهه ۱۹۸۰ ارائه شد. آن‌ها یک میکروکانال جاذب حرارت سیلیکونی مستطیلی به ابعاد $1 \times 1\ cm^2$ ساختند. کانال‌ها دارای عرض ۵۰μm و عمق ۳۰۲μm بوده وبه وسیله دیواره‌هایی به ضخامت ۵۰μm از هم جدا می‌شدند. سیال خنک‌کننده آب و قابلیت دفع حرارت با شرط افت فشار ۲/۲ بار، $790\ W/cm^2$ بود.

ویسبرگ وهمکاران[۳] [۳] جریان سیال و انتقال حرارت را به صورت دو بعدی و بافرض توسعه یافته بودن از نظر حرارتی وهیدرودینامیکی در میکرو کانال حل کردند.

فدوراف[۴] و ویسکاندا[۵] [۴] با استفاده از معادلات ناویراستوکس در حالت تراکم ناپذیر و آرام یک مدل سه بعدی را برای میکروکانال جاذب حرارت توسعه دادند. آن‌ها در کار خود از کانال با هندسه مشابه کار آزمایشگاهی کاوانو وهمکاران[۶] [۵] استفاده کردند.

انجی[۷] و پوه[۸] [۶] از CFD برای آنالیز جریان سیال در میکروکانال دو لایه[۹] استفاده کردند.

---

[1] - Tuckerman
[2] - Pease
[3] – Weisberg et al
[4] – Fedorov
[5] – Viskanta
[6] – Kawano et al.
[7] –Ng
[8] -Poh
[9] - double-layer

وو[۱] و چنگ[۲] [۷] مطالعات آزمایشگاهی با موضوع انتقال حرارت جابه جایی در میکروکانال‌های سیلیکونی با شرایط سطح مختلف انجام دادند. آن‌ها نشان دادند مقدار عدد ناسلت و اصطکاک ظاهری شدیداً به پارامترهای سطح بستگی دارد.

گمرات و همکاران[۳] [۸] یک مدل دو و سه بعدی برای انتقال حرارت جابه جایی در میکروکانال‌ها ارائه کردند.در کار آن‌ها اثر طول ورودی حرارتی وانتقال حرارت کوپل جابجایی-رسانش در میکرو کانال مورد بررسی قرار گرفت.

لی[۴] و گریملا[۵] [۹] با فرض یک جریان توسعه یافته در میکروکانال جاذب حرارت، یک رابطه کلی برای محاسبه عدد ناسلت در طول محور میکروکانال پیشنهادکردند. رابطه پیشنهاد شده برای طراحی و بهینه سازی میکروکانال های جاذب حرارت مفید است.

کو و همکاران[۶] [۱۰] با ارائه یک مدل سه بعدی عددی، اثر تغییر طول و عرض را بر پارامتر های انتقال حرارت در میکروکانال جاذب حرارت مطالعه کردند.

نافون[۷] و خانسر[۸] [۱۱] مشخصه‌های انتقال حرارت و افت فشار در میکروکانال‌های جاذب حرارت را با شرط مرزی شار ثابت به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. آزمایشات صورت گرفته در محدوده عدد رینولدز ۱۰۰۰-۲۰۰ و شار حرارتی $1.8-5.4\ kW/m^2$ بوده است.

چن و همکاران[۹] [۱۲] جریان سیال و انتقال حرارت را در میکروکانال های غیر دایره‌ایی[۱۰] مدل کردند. آن‌ها نشان دادند عدد ناسلت در ورودی مقدار زیادی دارد، اما سریعاً به مقدار ثابت ناحیه توسعه یافته می رسد. در ضمن مقایسه ای بین کارایی حرارتی میکروکانال هایی با سطح مقطع مختلف انجام دادند.

لیا[۱۱] [۱۳] یک بهینه سازی هندسی بر روی میکرو جاذب حرارت با میکرو کانال‌های مستقیم دایره‌ایی انجام داد. هدف وی از این بهینه سازی هندسی، بهینه کردن عملکرد حرارتی میکرو جاذب حرارت در توان ثابت پمپ بود.

---

[1] - Wu
[2] - Cheng
[3]- Gamrat et al.
[4] – Lee
[5] - Garimella
[6] - Kou et al.
[7] - Naphon
[8] - Khonseur
[9] - Chen et al.
[10] -non-circular
[11] - Lelea

سطح مقطع ورودی مستطیل شکل بود که در صفحه بالایی جاذب حرارت قرار داشت. به طورکلی در این تحقیق، اثر هندسه ورودی بر انتقال حرارت و جریان سیال مورد بررسی قرار گرفت.

دربالا مروری بر برخی از تحقیقات انجام شده بر روی میکروکانال های جاذب حرارت صورت گرفت، که برخی از آن‌ها به بهینه سازی و کارآمد کردن میکروکانال های جاذب حرارت اختصاص یافته بود. علاوه بر موارد یاد شده در بالا، در زمینه بهینه سازی میکروکانال‌های جاذب حرارت می توان به تحقیقات مهم [۱۴-۲۰] نیز اشاره کرد.

در بهینه سازی میکروکانال های جاذب حرارت از مدل‌ها و روش های مختلفی مانند مدل فین، مدل محیط متخلخل و... استفاده می‌شود [۲۱] یکی از این روش‌ها، تئوری ساختاری[1] می‌باشد.

۱-۲ تئوری ساختاری

تئوری ساختاری یک دیدگاه ذهنی است که در آن تولید ساختارهای جریان که در طبیعت دیده می‌شود از قبیل بستر رودخانه‌ها، شش موجودات زنده، گردش هوای اتمسفر و غیره، می‌تواند بر مبنای اصول تکاملی باشد که در طی آن دستیابی به این نوع جریان‌ها آسانتر می‌گردد؛ این اصول را قانون ساختاری می‌نامند. تئوری ساختاری پژوهشگران زیادی را گرد هم جمع کرده است تا در یک مسیر جدید که عبارتست از استفاده از قانون ساختاری برای کارهای مهندسی بهتر، حرکت‌هائی با سازماندهی بیشتر و همینطور ارتباط انسان، کالا و اطّلاعات گام بردارد. این مسیر، طراحی ساختاری نامیده می‌شود. ساختارها و راهبردهای (استراتژی) بهتر از اهداف این مسیر طراحی می‌باشد [۲۲].

بژان[2] منشأ تئوری ساختاری است که آن را در سال ۱۹۹۶ مطرح نمود. او پیشگام بسیاری از روش‌های عددی در علوم حرارتی می‌باشد که می‌توان به نمونه‌هائی از قبیل کمینه‌سازی تولید انتروپی، مقیاس طولی جابه‌جائی، خطوط جرمی و حرارتی، و قانون ساختاری طراحی در طبیعت، اشاره نمود. او ۱۵ دکترای افتخاری از دانشگاه‌هائی در سراسر جهان کسب نموده است. این دانشمند بزرگ در کتاب‌هایش [۲۳،۲۴] بیان کرده که نظریه ساختاری زمانی به ذهنش خطور کرد که در حال حل مسئله کمینه نمودن مقاومت حرارتی بین یک حجم در حال تولید حرارت و یک نقطه بود. برای حل بهینه این مسئله او یک " شبکه درختی" یافت و این‌گونه نتیجه گیری کرد که هر ساختار درختی طبیعی نیز نتیجه بهینه نمودن عملکرد جریان حجمی–نقطه‌ای می‌باشد. او گمان کرد که بهینه نمودن شکل باید یک اصل جدید باشد و آن را قانون ساختاری نامید. او بیان کرد که این قانون به این صورت است که: یک

---

[1] - Constructal theory
[2] - Bejan

سیستم با اندازه مشخص باید به نحوی باشد که دستیابی آسان‌تری را برای جریانی که از داخل سیستم عبور می‌کند، به ارمغان آورد [۲۵].

طراحی ساختاری در زمینه مهندسی به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود تا سیستم‌های جریانی را بهینه نماید. این روش با قانون ساختاری تأیید می‌گردد. کاربردهای این قانون در فیزیک سیستم جریان‌های مهندسی و طبیعی در مقالات مرتبط به طور وسیعی بحث شده است [۲۶ـ۳۰]. در این قسمت مواردی از کارهای انجام شده در زمینه تئوری ساختاری بیان می‌شود که مرتبط با بهینه سازی میکرو کانال‌ها باشد.

در بهینه سازی میکرو کانال‌ها به کمک تئوری ساختاری معمولا با دو نوع مساله سروکار داریم. در مسائل نوع اول پارامترهای دما وحجم، ثابت در نظر گرفته می‌شود و هدف از بهینه سازی، یافتن ابعاد بهینه میکرو کانال به منظور ماکزیمم کردن انتقال حرارت می‌باشد در حالیکه در مسائل نوع دوم پارامترهای دما و شار حرارتی ثابت در نظر گرفته شده وهدف از بهینه سازی، مینیمم کردن دمای ماکزیمم میکرو کانال می باشد.به پارامترهای طراحی دما،حجم و شار حرارتی، قیود بهینه سازی[1] گویند.

بژان و سیوبا[2] [۳۱] برای اولین بار از این تئوری برای چیدمان بهینه صفحات موازی که برای خنک سازی سیستم های الکترونیکی کاربرد دارد استفاده کردند.آنها با استفاده از روش تقاطع مجانب ها[3] [۳۲]، فاصلهٔ بهینه صفحات را بر حسب طول کانال، b_{opt}/L ، و ماکزیمم انتقال حرارت به ازای واحد حجم را به صورت عبارتی از یک پارامتر بدون بعد بدست آوردند. این پارامتر بدون بعد به عنوان عدد بژان شناخته می‌شود.

میوزیچکا[4] [۳۳] با استفاده از روش تقریبی ارائه شده توسط بژان سیوبا اندازهٔ بهینه مسیر را به صورت نسبت طولی و بر حسب عدد بژان برای میکرو کانال هایی با سطح مقطع‌های مختلف به دست آورد.

در نهایت اوچنده[5] [۳۴] بهترین هندسهٔ ممکن را برای میکروکانال جاذب حرارت به صورت عددی تعیین کرد. در کار وی حجم کلی المان و طول محوری میکروکانال جاذب حرارت ثابت در نظر گرفته شده و بهترین ابعاد کانال و شکل سیستم به نحوی تعیین شده که حداکثر دما مینیمم شود.

برای مدل کردن یک میکرو کانال ابتدا باید خصوصیات جریان در این وسیله مورد بررسی قرار گیرد. تئوری‌های معمول نمی توانند پدیده‌های موجود در جریان با مقیاس کوچک را توضیح دهند. یکی از این پدیده‌ها تأثیرات فصل مشترکی مانند لایه الکتریکی دوگانه می‌باشد.

---

[1] -optimisation constraints
[2] - Sciubba
[3] -intersection of asymptotes method
[4] -Muzychka
[5] - Ochende

EDL[1] ۳-۱

بیشتر سطوح جامد دارای شارژ الکتروستاتیکی یا یک پتانسیل الکتریکی سطحی هستند. اگر مایع مقدار بسیار کمی یون به همراه داشته باشد (برای مثال، محلول الکترولیت یا یک مایع با ناخالصی‌ها) شارژ الکتروستاتیکی روی سطح، یونهای مخالف را جذب کرده در نتیجه یک میدان الکتریکی ایجاد می شود . قرارگیری شارژ الکتروستاتیکی روی سطح جامد و شارژهای متعادل کننده در مایع، لایه‌هایی از یون روی سطح ایجاد می کند که لایهٔ الکتریکی دو گانه(EDL) نامیده می‌شود، شکل ۱-۲.

همانطور که از شکل ۱-۲ مشخص است نزدیک سطح جامد، لایه‌ایی از یونها وجود دارد که شدیداً توسط سطح جامد جذب شده بی‌حرکت می‌مانند. این لایه، لایه فشرده[2] نامیده می شود. ضخامت این لایه معمولا در حدود چند آنگستروم می‌باشد. بالاتر از این لایه، لایه‌ای وجود دارد که در آن یون‌ها کمتر تحت تاثیر جاذبه الکترواستاتیکی دیواره قرار داشته در نتیجه در حرکت هستند، به این لایه، لایه پخشی[3] گویند. ضخامت لایه EDL بسته به پتانسیل الکتریکی سطح جامد، تمرکز توده ای یون و دیگر مشخصات سیال از چند نانومتر تا صدها نانومتر متغییر می‌باشد.

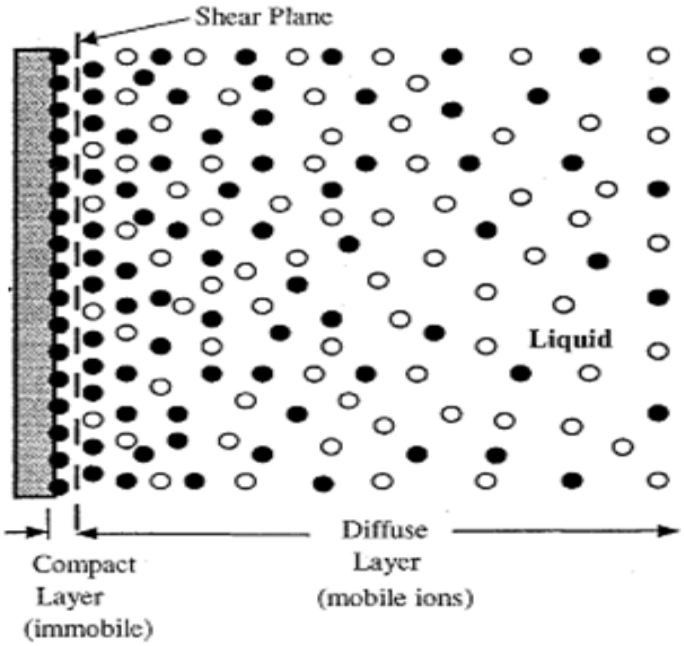
وجود پدیدهٔ EDL نزدیک به یک قرن است که شناخته شده می‌باشد. دبای[4] و هاکل[5] [۳۵] در سال ۱۹۲۳ معادله‌ی پواسون-بولتزمن[6] را که به صورت نمایی بود خطی کردند و توزیع پتانسیل الکتریکی در یک محلول با پتانسیل دیوار کم را حل کردند. آنالیز آن‌ها، امروزه به عنوان تقریب دیبای-هاکل شناخته می‌شود. قابل ذکر است تقریب دیبای-هاکل تنها برای پتانسیل دیواره کمتر از 25 mv معتبر می‌باشد. سپس برگرین[7] و ناکاچ[8] [۳۶] توزیع پتانسیل الکتریکی برای جریان الکتروسینتیک در میکرو کانال با صفحات موازی در پتانسیل‌های بالا را تعیین کردند. مالا و همکاران[9] [۳۷] با استفاده از تقریب دیبای- هاکل به صورت تحلیلی توزیع سرعت، نرخ دبی حجمی و ضریب اصطکاک را در میکروکانال با صفحات موازی با فرض جریان آرام توسعه یافته به دست آوردند.

---

[1]-electrical double layer

[2] - compact layer
[3] - diffuse layer
[4] - Debye
[5]- Hückel
[6] -Poisson–Boltzmann
[7] - Burgreen
[8] - Nakache
[9] - Mala et al.

لی[1] [۳۸] توزیع پتانسیل الکتریکی، توزیع سرعت و نرخ دبی حجمی را در هندسه دوبعدی میکروکانال های مستطیلی به صورت تحلیلی و عددی تعیین کرد. وی در تحلیل خود از تقریب دیبای-هاکل استفاده کرد اما در حل عددی از معادله‌ی کامل پواسون-بولتزمن استفاده نمود.



شکل ۱-۲- لایهٔ الکتریکی دوگانه در نزدیکی دیوارهٔ میکروکانال

چن و همکاران[2] [۳۹] مشخصات جریان سیال برای جریان مایع توسعه یافته در میکروکانال هایی با صفحات موازی را به دست آوردند. در این پژوهش مدل ریاضی (معادلات پواسون-بولتزمن، نرنست-پلانک، پیوستگی و ناویراستوکس) به صورت عددی و با استفاده از روش حجم محدود حل شد. با توجه به افزایش استفاده از میکروکانال‌ها در خنک کاری تجهیزات الکترونیکی، اثر EDL بر مشخصه‌های انتقال حرارت نیز مورد توجه محققان قرار گرفته است. مالا و همکاران [۴۰] با استفاده از تقریب دیبای-هاکل ابتدا به صورت تحلیلی جریان سیال توسعه یافته در میکروکانال با صفحات موازی را بدست آورده، سپس معادله ی انرژی را به صورت عددی حل کردند. حل تحلیلی مشابهی نیز توسط یانگ و همکاران[3] [۴۱] برای میکروکانال با سطح مقطع مستطیل به دست آمد.

[1] - Li
[2] - Chen et al.
[3] - Yang et al.

سونگ[1] و وانگ[2] [۴۲] با استفاده از تقریب خطی دیبای-هاکل به صورت تحلیلی توزیع سرعت و دما را برای جریان توسعه یافته هیدرودینامیکی و حرارتی در میکروکانال با صفحات موازی به دست آوردند. پتانسیل وشارژ حرارتی دیوار به صورت نامتقارن در نظر گرفته شده بود.

همانطور که گفته شد تقریب دیبای-هاکل تنها برای پتانسیل دیواره کمتر از 25mv معتبر بوده و برای پتانسیل‌های بالا نمی توان از این تقریب استفاده کرد. الازهری[3] و سلیمان[4] [۴۳] عبارت‌هایی تحلیلی برای توزیع سرعت و دما در حالت پتانسیل دیواره ی زیاد در میکروکانال با صفحات موازی به دست آوردند. در واقع آن‌ها به جای استفاده از تقریب دیبای-هاکل از معادله‌ی کامل پواسون-بولتزمن استفاده کردند. قابل ذکر است در این کار اتلافات ویسکوز نیز در نظر گرفته شده‌بود.

۱-۴ کار حاضر

۱- ابتدا با استفاده از آنالیز تقریبی بیان شده توسط بژان و سیوبا و بهینه سازی عددی، ابعاد بهینه میکروکانال با سطح مقطع‌های دایره،مربع و مثلث متساوی الساقین راست گوشه به نحوی تعیین شده است که چیدمان این میکرو کانال‌ها بیشترین انتقال حرارت را در حجم ثابت داشته باشد. سپس نتایج حاصل از آنالیز تقریبی و عددی با هم مقایسه شده در نهایت از بین میکروکانال‌های بیان شده، هندسه بهینه انتخاب می‌شود.

۲-در این قسمت بهینه سازی هندسی میکرو کانال های جاذب حرارت با میکرو کانال های مستطیلی، بیضوی و مثلثی مورد توجه قرار گرفته است. بهینه سازی به صورت عددی و با استفاده از روش حجم محدود انجام شده است. ابتدا هندسه بهینه میکروکانال های جاذب حرارت مذکور به صورت عددی به نحوی تعیین شده که مقاومت حرارتی کل مینیمم شود. در این حالت برای یک اختلاف فشار ثابت در طول المان حجمی، پیک دمایی که از دیواره ها به سیال خنک کن می‌رسد مینیمم می‌شود. سپس میکروکانال‌های جاذب حرارت ذکر شده در حالت بهینه با هم مقایسه گشتند. در نهایت نتایج حاصل از بهینه سازی عددی با نتایج به دست آمده از حل تقریبی با هم مقایسه گردیدند.

---

[1] - Soong
[2] - Wang
[3] - Elazhary
[4] - Soliman

۳-در قسمت سوم پایان نامه حاضر اثر درجات آزادی میکرو کانال جاذب حرارت بر هندسه بهینه مورد بحث قرار گرفته است. در این قسمت نشان داده شدکه هر چه تعداد درجات آزادی که در بهینه سازی میکروکانال جاذب حرارت به کار می‌رود بیشتر باشد، هندسه بهینه میکروکانال عملکرد بهتری دارد.

۴-در نهایت در قسمت پایانی، با در نظر گرفتن اثر EDL بر مشخصه‌های جریان سیال و انتقال حرارت، هندسه بهینه میکرو کانال جاذب حرارت با استفاده از تئوری ساختاری تعیین گردید.

فصل دوم
بهینه سازی چیدمان میکرو کانال‌ها

۲-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا به کمک آنالیز تقریبی ابعاد بهینهٔ میکروکانال با سطح مقطع‌های دایره، مربع و مثلث متساوی الساقین راست گوشه تعیین و نشان داده خواهد شد که این ابعاد بهینه مستقل از شکل چیدمان می باشند. سپس با انجام یک سری محاسبات و بهینه سازی‌های عددی نیز، این ابعاد بهینه محاسبه خواهند شد. در نهایت نتایج حاصل از آنالیز تقریبی و عددی با هم مقایسه شده از بین میکروکانالهای بیان شده، هندسه بهینه انتخاب می‌شود.

۲-۲ شرح مساله

سیستم مطرح شده شامل یک حجم ثابت می‌باشد که به وسیلهٔ جابجایی اجباری آرام خنک می‌شود. این حجم شامل چیدمان میکروکانال‌های (مسیرهای) دایره‌ای، مربعی و مثلث متساوی الساقین راست گوشه می‌باشد، شکل ۲-۱. اندازه این مسیرها باید به گونه ای تعیین شود که بیشترین انتقال حرارت را در حجم مذکور داشته باشد. در واقع در مساله حاضر پارامترهای دما وحجم، ثابت در نظر گرفته می‌شود وهدف از بهینه سازی، یافتن ابعاد بهینه میکرو کانال به منظور ماکزیمم کردن انتقال حرارت می‌باشد.