

دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

عنوان:

مطالعه عددی میدان جریان در یک میکروپمپ

مگنتوهیدرودینامیک AC

استاد راهنما:

دکتر قنبرعلی شیخ زاده

استاد مشاور:

دکتر علی عارفمنش

به وسیله:

نستوه صدوقی

شهریور 1389

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا بر خود لازم می‌دانم از تمامی اساتید بزرگوار بویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده‌اند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر قنبرعلی شیخزاده که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان‌نامه تقبل نموده‌اند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم. از جناب آقای دکتر علی عارف‌منش به‌عنوان مشاور که با راهنمایی خود مرا مورد لطف قرار داده‌اند کمال تشکر را دارم.

همچنین از تشریک مساعی آقای دکتر علی‌اکبر عباسیان آران‌ی و آقای دکتر حسین خراسانی‌زاده به‌عنوان اساتید داور که این پایان‌نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند تشکر می‌نمایم.

در آخر از سرکار خانم مهندس سارا مستفیدی و آقای مهندس پویان موذنی‌پور که بی‌تردید بدون همکاری ارزنده ایشان این پژوهش به اتمام نمی‌رسید صمیمانه قدردانی نموده و از اینکه امکان ذکر نام تک‌تک عزیزان من میسر نیست پوزش می‌طلبم.

تقدیم به عزیزترین‌هایم

پدر فداکارم

وجود پر مهر مادرم

برادران عزیزم نیما و نوید

و عمه دوست‌داشتنی‌ام

چکیده

در این تحقیق جریان توسعه یافته آرام سیال هادی جریان الکتریسیته در یک میکروپمپ مغناطیسی در حالت گذرا بصورت عددی مطالعه شده است. در ابتدا هیدرودینامیک مغناطیسی معرفی شده و سپس اثر نیروی لورنتز نوسانی در میکروپمپ مگنتوهیدرودینامیک بررسی شده است. سپس معادلات مربوط به سرعت و دما در جریان آرام توسعه یافته گذرا در حضور میدان الکتریکی و مغناطیسی اعمالی به همراه شرایط مرزی مناسب برای هندسه مورد نظر ارائه شده است. معادلات حاکم با استفاده از روش عددی حجم محدود و روش ضمنی منفصل و با استفاده از روش تکرار گوس - سایدل حل شده اند. برای حل معادلات منفصل شده یک برنامه کامپیوتری به زبان فرترن تهیه شده است و با استفاده از آن اثر تغییر پارامترهای مختلف مانند نسبت تناظر، عدد هارتمن، عدد پرائتل و عدد اکرت بر میدان سرعت و دما در حالت گذرا مطالعه شده است. تاثیر تغییر عدد استانتون و زاویه فاز نیز مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین به مقایسه حالتی که میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی اعمالی از نوع جریان متناوب باشند با حالت جریان مستقیم پرداخته شده است. نتایج حاصل نشان می دهد که کنترل جریان و دما با کنترل اختلاف پتانسیل، شار مغناطیسی و همچنین با انتخاب مناسب هادی الکتریکی قابل دستیابی است. مشاهده شده است که در فرکانس های بالا دبی حجمی ضربان دار کوچک بوده که منجر به ایجاد یک جریان پیوسته به جای جریان نوسانی می شوند و اندازه و جهت جریان با تغییر فاز بین میدان های مغناطیسی و الکتریکی کنترل می گردند.

بطور کلی با ثابت نگهداشتن اعداد هارتمن، پرائتل، استانتون و اکرت و با زیاد کردن نسبت ابعاد دما و سرعت نیز زیاد می شوند. این مسئله به آن معناست که با کنترل عرض محفظه می توان کنترل مناسبی را بر روی سرعت و دما انجام داد. با کاهش نسبت ابعاد، دامنه تغییرات سرعت بر حسب زاویه فاز کاهش می یابد. بنابراین با کاهش نسبت ابعاد میدان متناوب به سمت مستقیم شدن تمایل دارد که این نکته به طور حتم بر روی میدان سرعت و دما اثرگذار خواهد بود.

فهرست

- 1- مقدمه 1
- 1-1- مقدمه 1
- 2-1- مروری بر کارهای گذشته 6
- 3-1- هدف و موضوع این تحقیق 8
- 4-1- روش انجام تحقیق 9
- 2- توصیف هیدرودینامیک مغناطیسی و کاربردهای آن 10
- 1-2- مقدمه 10
- 2-2- هیدرودینامیک مغناطیسی چیست؟ 10
- 3-2- تاریخچه‌ای از هیدرودینامیک مغناطیسی 13
- 4-2- یادآوری قوانین الکترودینامیک 14
- 5-2- بعضی از کاربردهای هیدرودینامیک مغناطیسی 18
- 1-5-2- شتاب دهنده و مولد قدرت هیدرودینامیک مغناطیسی 18
- 3- معادلات حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت در هیدرودینامیک مغناطیسی 34
- 1-3- مقدمه 34
- 2-3- معادلات حاکم بر الکترودینامیک 35
- 1-2-3- میدان الکتریکی و نیروی لورنتز 35
- 2-2-3- قانون اهم و نیروی حجمی لورنتز 36
- 3-2-3- قانون آمپر 39
- 4-2-3- قانون فارادی 40
- 5-2-3- شکل کاهش یافته معادلات ماکسول در هیدرودینامیک مغناطیسی 41
- 6-2-3- معادله انتقال برای میدان مغناطیسی 43
- 3-3- معادلات حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت 43
- 1-3-3- معادلات حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت در مسئله موردنظر 44
- 2-3-3- شکل بدون بعد معادلات حاکم 46
- 4- محاسبات عددی 49
- 1-4- مقدمه 49
- 2-4- انفصال معادله هدایت غیردائم یک بعدی 50
- 1-2-4- روش صریح 52
- 2-2-4- طرح کرنک - نیکلسون 53
- 3-2-4- طرح کاملاً ضمنی 54

55	3-4- انفصال معادلات حاکم
55	1-3-4- شکل کلی معادلات حاکم
56	2-3-4- انفصال معادله کلی f
57	4-4- حل عددی دستگاه معادلات جبری
58	1-4-4- روش نقطه به نقطه گوس - سایدل
60	5-4- فلوچارت برنامه کامپیوتری
62	5- بررسی نتایج
62	1-5- مقدمه
62	2-5- انتخاب شبکه مناسب
63	1-2-5- نسبت ابعاد برابر 1
64	2-2-5- نسبت ابعاد برابر 0/5
66	3-2-5- نسبت ابعاد برابر 2
67	3-5- بررسی عملکرد برنامه کامپیوتری
70	4-5- بررسی نتایج
70	1-4-5- نتایج حاصل برای پمپ هیدرودینامیک مغناطیسی AC
75	2-4-5- بررسی اثرات تغییر نسبت ابعاد پمپ هیدرودینامیک مغناطیسی AC
81	3-4-5- نتایج حاصل برای مقایسه دو پمپ هیدرودینامیک مغناطیسی AC و DC
88	5-5- جمع بندی و نتیجه گیری
90	6-5- پیشنهادات
91	منابع و مأخذ

فهرست جداول

42	جدول 1-3- معادلات الکترو دینامیک
42	جدول 2-3- معادلات الکترو دینامیک نهایی
51	جدول 1-4- روشهای حاصل از مقادیر مختلف پارامتر وزنی

فهرست شکل‌ها

- شکل 1-1- نمونه‌های از میکروپمپ 3
- شکل 2-1- میکروپمپ سلیکون کرونوجت، ساخته شده جهت تزریق انسولین 3
- شکل 3-1- نمونه‌ای از میکروپمپ مگنتوهیدرودینامیک 5
- شکل 4-1- نمایی شماتیک از یک میکروپمپ مگنتوهیدرودینامیک 9
- شکل 1-2- نمایش قانون اهم برای (الف) رسانای ساکن (ب) رسانای متحرک 16
- شکل 2-2- نمایش قانون فارادی (الف) تولید نیروی محرکه الکتریکی بواسطه حرکت رسانا 17
- شکل 3-2- نمایش قانون آمپر بر روی یک سیم حامل جریان الکتریکی 18
- شکل 4-2- دو بار هم علامت با فاصله d از یکدیگر 20
- شکل 5-2- جریان یک گاز هادی الکتریسیته بین دو الکتروود 21
- شکل 6-2- جهت میدان‌های الکتریکی اعمالی و القایی در جریان گاز عبوری بین دو الکتروود 22
- شکل 7-2- طرحی از اجزای یک مولد قدرت هیدرودینامیک مغناطیسی 23
- شکل 8-2- طرحی از مجرای هیدرودینامیک مغناطیسی در یک مولد قدرت هیدرودینامیک مغناطیسی 24
- شکل 9-2- نمایی از یک مولد قدرت هیدرودینامیک مغناطیسی [27] 25
- شکل 10-2- نمایی از نحوه شتاب گرفتن یک گاز با استفاده از اصول هیدرودینامیک مغناطیسی 26
- شکل 11-2- طرحی ساده از یک پمپ هیدرودینامیک مغناطیسی [25] 26
- شکل 12-2- موقعیت یک پمپ هیدرودینامیک مغناطیسی در یک راکتور هسته‌ای زایشی [28] 27
- شکل 13-2- (الف) زیر دریایی نظامی با سیستم رانش هیدرودینامیک مغناطیسی حلقوی 29
- شکل 14-2- یک سیستم رانش هیدرودینامیک مغناطیسی برای استفاده در وسایل دریایی به همراه یک نیروگاه هسته‌ای هیدرودینامیک مغناطیسی به منظور تأمین توان الکتریکی مورد نیاز پمپ [30] 30
- شکل 15-2- اجزای یک پرتابگر الکترومغناطیس [25] 31
- شکل 16-2- پرتاب موشک با استفاده از سیستم پرتابگر الکترومغناطیس 32
- شکل 17-2- یک سیستم پیشرفته پیشرانس برای استفاده در سفینه‌های فضایی [31] 33
- شکل 1-3- نیروی وارد بر ذره باردار متحرک در حضور یک میدان مغناطیسی 35
- شکل 2-3- مسیر بسته ساکن در حضور یک میدان مغناطیسی وابسته به زمان 40
- شکل 1-5- تغییرات سرعت میانی بر حسب زمان برای شبکه‌ای با نسبت ابعاد 1 به ازای چندین شبکه برای اعداد $Ha=2$ و $St=8$ 63
- شکل 2-5- تغییرات دمای میانی بر حسب زمان برای شبکه‌ای با نسبت ابعاد 1 به ازای چندین شبکه برای اعداد $Ha=2$ و $St=8$ 64
- شکل 3-5- تغییرات سرعت میانی بر حسب زمان برای شبکه‌ای با نسبت ابعاد 0/5 به ازای چندین شبکه برای اعداد $Ha=2$ و $St=8$ 65
- شکل 4-5- تغییرات دمای میانی بر حسب زمان برای شبکه‌ای با نسبت ابعاد 0/5 به ازای چندین شبکه برای اعداد $Ha=2$ و $St=8$ 65
- شکل 5-5- تغییرات سرعت میانی بر حسب زمان برای شبکه‌ای با نسبت ابعاد 2 به ازای چندین شبکه برای اعداد $Ha=2$ و $St=8$ 66

- شکل 5-6- تغییرات دمای میانی بر حسب زمان برای شبکه ای با نسبت ابعاد 2 به ازای چندین شبکه برای اعداد $Ha=2$ و $St=8$ 67
- شکل 5-7- هندسه مسئله مورد مقایسه با مرجع [24] 68
- شکل 5-8- تغییرات سرعت میانی، مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج مرجع [24] برای اعداد $Ha=4$ و $St=8$ 69
- شکل 5-9- تغییرات دمای میانی، مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج مرجع [24] برای اعداد $Ha=4$ ، $St=8$ و $Pr=0/05$ 69
- شکل 5-10- تغییرات سرعت میانی بر حسب زمان برای اعداد هارتمن مختلف در پمپاژ AC و $St=8$ 71
- شکل 5-11- تغییرات دمای میانی بر حسب زمان برای اعداد هارتمن مختلف در پمپاژ AC و $St=8$ 71
- شکل 5-12- تغییرات دمای میانی بر حسب زمان برای اعداد پراتنل مختلف در پمپاژ AC ، $St=8$ ، $Ha=2$ و $Ec=0/01$ 72
- شکل 5-13- تغییرات دمای میانی بر حسب زمان برای اعداد اکرت مختلف در پمپاژ AC ، $St=8$ ، $Ha=2$ و $Pr=0/1$ 73
- شکل 5-14- تغییرات سرعت میانی بر حسب زمان برای اعداد استانتون مختلف در پمپاژ AC ، $Pr=0/1$ و $Ha=2$ 74
- شکل 5-15- تغییرات سرعت میانی بر حسب زاویه فاز پمپاژ AC ، $St=4$ و $Ha=2$ 75
- شکل 5-16- تغییرات سرعت میانی بر حسب زمان در نسبت ابعاد $0/5$ ، 1 و $1/5$ در پمپاژ AC ، $Ha=2$ و $St=8$ 76
- شکل 5-17- تغییرات دمای میانی بر حسب زمان در نسبت ابعاد $0/5$ ، 1 و $1/5$ در پمپاژ AC ، $Ha=2$ و $St=8$ 77
- شکل 5-18- خط دمای میانی بر حسب زمان در پمپاژ AC ، $Pr=5$ ، $St=8$ و $Ha=2$ 78
- شکل 5-19- خط دمای میانی بر حسب زمان در پمپاژ AC ، $Ec=0/05$ ، $St=8$ و $Ha=2$ 78
- شکل 5-20- تغییرات سرعت میانی بر حسب زمان در پمپاژ AC ، $St=4$ ، $Pr=0/1$ و $Ha=2$ 79
- شکل 5-21- تغییرات سرعت میانی بر حسب زاویه فاز پمپاژ AC ، $St=4$ و $Ha=2$ 80
- شکل 5-22- تغییر سرعت میانی بر حسب زمان برای اعداد هارتمن مختلف در پمپاژ DC و $St=8$ 81
- شکل 5-23- مقایسه تغییرات سرعت میانی بر حسب زمان در پمپاژ DC و AC ، $Ha=2$ و $St=8$ 82
- شکل 5-24- تغییرات دمای میانی بر حسب زمان برای اعداد هارتمن مختلف در پمپاژ DC و $St=8$ 83
- شکل 5-25- مقایسه تغییرات دمای میانی بر حسب زمان در پمپاژ DC و AC ، $Ha=4$ و $St=8$ 84
- شکل 5-26- تغییرات دمای میانی بر حسب زمان برای اعداد پراتنل مختلف در پمپاژ DC و $St=8$ 85
- شکل 5-27- مقایسه دمای میانی بر حسب زمان در پمپاژ DC و AC ، $Ha=2$ و $St=8$ 86
- شکل 5-28- تغییرات دمای میانی بر حسب زمان برای اعداد اکرت مختلف در پمپاژ DC و $St=8$ 87
- شکل 5-29- تغییرات دمای میانی بر حسب زمان برای اعداد اکرت مختلف در پمپاژ DC و $St=8$ 88

علايم اختصاری

\dot{J}	چگالی جریان الكتریکی
\dot{B}	شدت میدان مغناطیسی
\dot{u}	بردار اندازه سرعت
l	طول مشخصه
Re	عدد رینولدز
q	بار الكتریکی آزاد
\dot{E}	شدت میدان الكتریکی
T	دما
Ha	عدد هارتمن
St	عدد استانتون
Pr	عدد پرانتل
Ec	عدد اکرت
x	مختصات در جهت محور کانال
y	مختصات در جهت پهناي کانال
z	مختصات در جهت ارتفاع کانال
t	زمان
h	ارتفاع کانال
w	پهناي کانال
\dot{F}	نیرو

I	مقدار جریان الکتریکی
P	فشار
AR	نسبت تناظر

حروف یونانی

r_e	چگالی بار الکتریکی
e	ثابت دی الکتریکی فضای آزاد
s	ضریب هدایت الکتریکی
m	لزجت
l	ضریب پخش مغناطیسی
j	مقدار اختلاف زاویه فاز بین میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی
a	ضریب پخش حرارتی
f	مقدار متغیر وابسته در معادلات انفصال کلی

زیرنویس ها

w	مقدار متغیر در دیواره کانال
p	مقدار متغیر در فشار ثابت
o	مقدار متغیر در دمای مرجع

بالانویس ها

o	مقدار متغیر در زمان مرجع
-----	--------------------------

1- مقدمه

1-1- مقدمه

با توسعه تکنولوژی ساخت در مقیاس میکرون، تحقیقات بسیاری در مورد سیستم‌های میکروسیالاتی و وسایل بکارگیری مایع در مقیاس میکرون انجام شده است. میکروپمپ‌ها یکی از اجزای مهم برای به جریان در آوردن سیالات در سیستم‌های مینیاتوری می‌باشند. اندازه کوچک و قابلیت آنها در به جریان انداختن حجم‌های مشخص و خیلی کم مایعات، آنها را برای کاربرد در سیستم‌های میکروسیالاتی، بیوتکنولوژی، سیستم‌های آنالیز شیمیایی در مقیاس میکرون، سیستم‌های توزیع دارو و سیستم‌های سرمایش ساخته شده بر روی یک قطعه کوچک¹، مناسب کرده است [1].

گسترده‌ترین استفاده از میکروپمپ‌ها، در کاربردهای شیمیایی و بیوپزشکی می‌باشد که مقادیر بسیار کم و دقیقی از مایعات را انتقال می‌دهند. میکروپمپ‌ها اغلب بخشی از یک تراشه‌ی آزمایشگاهی کوچک² می‌باشند. این تراشه‌ها ابزارهایی سبک و قابل استفاده برای اجراء تجربه‌های آزمایشگاهی می‌باشند.

¹ Chip integrated

² Lab On a Chip (LOC)

تکنولوژی مشابهی در کاربردهای بیوپزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در آن میکروپمپ‌ها برای توزیع مقادیر کم دارو در فواصل زمانی منظم مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک کاربرد اساسی و جدید میکروپمپ‌ها، تزریق انسولین در بیماران دیابتی است. به این صورت روشی متمایز برای تزریق فراهم می‌شود. این دسته از میکروپمپ‌ها می‌توانند برای توزیع انسولین با یک نرخ ثابت در تمام مدت روز طرح‌ریزی شوند. بنابراین از هرگونه نوسان و یا کمبود دارو در جریان خون بیمار جلوگیری می‌کنند.

در دهه‌های اخیر مطالعات زیادی در آزمایشگاه‌های ساخته شده بر روی یک تراشه آزمایشگاهی صورت گرفته است. جابجایی کوچک سیالات برای واکنش‌ها و آنالیزهای شیمیایی در گسترش تکنولوژی تراشه آزمایشگاهی بسیار موثر بوده و منجر به ایجاد دامنه وسیعی از تحقیقات گشته است. از یک سیستم کامل که کوچک گردیده انتظار حداقل خطا، هزینه کم و خروجی مطلوب وجود دارد. یک سیستم تراشه آزمایشگاهی موثر می‌تواند باعث بهبود زیادی در تحقیقات ژنتیک، پیشرفت عملیات دارویی و سیستم‌های تراشه آزمایشگاهی گردد.

جابجایی حجم‌ها در مقیاس میکرون یک عامل حیاتی در سیستم‌های تراشه آزمایشگاهی است. اگرچه تاکنون مکانیزم‌هایی با تحریک‌های گوناگون برای میکروپمپ‌ها استفاده شده، اما هنوز تلفیق میکروپمپ با دیگر اجزا به سادگی برای ایجاد یک تراشه آزمایشگاهی معمول نمی‌باشد. این محدودیت‌ها شامل موثر نبودن میکروپمپ‌ها و چگونگی ترکیب کردن یا طریقه اتصال پیچیده میکروپمپ با دیگر اجزا سیستم می‌باشد [2و3].

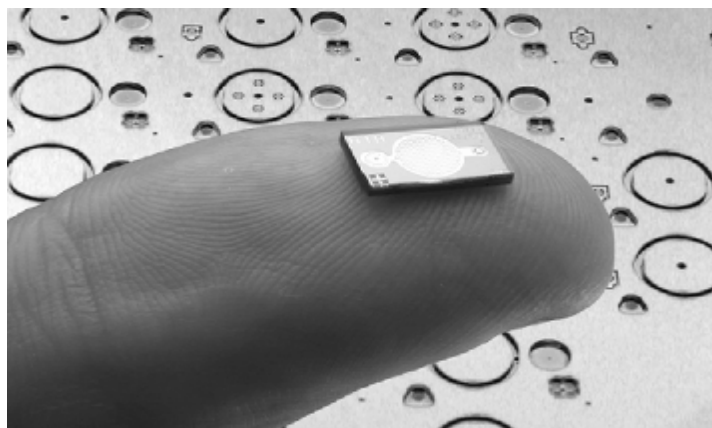
میکروپمپ‌های موجود از لحاظ کارایی و پیچیدگی بسیار متفاوت هستند. نوع موجود دیافراگمی با استفاده از پیزوالکتریک [4و5]، نوع حرارتی [6و7]، نوع پنوماتیکی [7و8]، نوع الکترواستاتیکی [9و10] و مگنتوهیدرودینامیکی [11] چند نمونه از آنها هستند. محدودیت پمپ‌های دیافراگمی، جریان پالسی و ایجاد حباب هواست. تحریک پیزوالکتریک و الکترواستاتیک نیازمند ولتاژهای بالاست. تحریک حرارتی امکان تجزیه بیولوژیکی سیال از طریق تغییر ساختار پروتئین‌ها را دارد. همچنین نوع دیافراگمی نیازمند دریچه‌هایی برای هدایت جریان است. امکان گیرکردن ذرات در دریچه‌ها با اجزای حرکتی بسیار زیاد است.

دریچه‌هایی که فاقد اجزای حرکتی می‌باشند نیز موجود است [12 و 13]، ولی دارای عملکردی ضعیف بوده و در مقابل جریان معکوس هنگام خاموش بودن پمپ باز می‌مانند. پمپ‌های الکتروهیدرودینامیک و الکترواستاتیک که از طریق کشیدن یون‌ها کار می‌کنند [14 و 15] در کاربردهایی با لوله‌های بسیار ریز و هادی استفاده می‌شوند که نیازمند ولتاژهای بالا بوده و به شرایط بافر نیز بسیار حساس هستند.

میکروپمپ‌ها متداولترین اجزاء به‌کار گرفته شده در سیستم‌های میکروسیالاتی می‌باشند. نمونه‌هایی از میکروپمپ‌ها در شکل‌های 1-1 و 2-1 ارائه شده است.



شکل 1-1- نمونه‌های از میکروپمپ



شکل 2-1- میکروپمپ سلیکون کرونوجت، ساخته شده جهت تزریق انسولین

بطور کلی میکروپمپ‌ها به دو دسته کلی مکانیکی و غیرمکانیکی تقسیم می‌شوند که اساسا نام آنها بر مبنای روشی که به کمک آن انرژی تحریک برای ایجاد جریان سیال تامین می‌شود (نوع مکانیزم پمپاژ)، انتخاب می‌گردد [16].

در میکروپمپ‌های مکانیکی که اصطلاحا به آنها پمپ‌های جابه‌جایی مثبت¹ نیز گفته می‌شود، انرژی متناوبا با اعمال نیرو به یک یا چند تا از مرزهای متحرک حجم در برگیرنده سیال وارد می‌شود. تغییرات حجم ناشی از این اعمال نیرو یک افزایش فشار را تا حدی که برای عبور از شیرها و وارد شدن به خط خروجی لازم باشد، تولید می‌کند. معمولا این پمپ‌ها برای پمپ کردن سیالات با ویسکوزیته بالا و یا با سرعت پائین مناسب‌تر از نوع میکروپمپ‌های هیدرودینامیکی می‌باشند. این پمپ‌های مکانیکی با اختلاف فشار جریان را ایجاد می‌کنند [16].

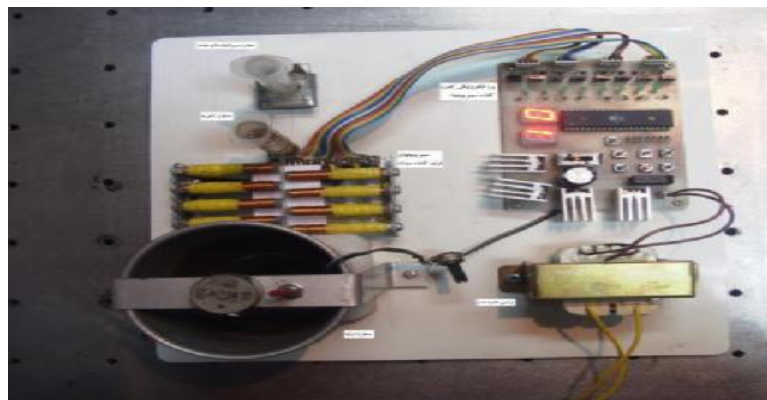
در بسیاری از میکروپمپ‌های مکانیکی برای تولید نیروی پمپاژ از غشاء استفاده می‌شود. این میکروپمپ‌ها بر اساس روش‌هایی که منجر به تحریک غشاء شده به چهار دسته پنوماتیک، پنوماتیک حرارتی، الکترواستاتیک، تحریک پیزوالکتریک تقسیم می‌شوند. مهمترین فایده پمپ‌های مذکور محدودیت کمتر برای خواص سیال کاری می‌باشد، اما ولتاژهای الکتریکی نسبتا بالا در حدود 100 تا 200 ولت برای تحریک غشاء در این میکروپمپ‌ها لازم است و همچنین جریان ایجاد شده توسط این میکروپمپ‌ها به جای پیوسته بودن، ضربان‌دار می‌باشد [16].

بر خلاف میکروپمپ‌های مکانیکی، میکروپمپ‌های غیرمکانیکی بدون هیچ بخش متحرکی طراحی می‌شوند، نتیجتا مشکلات خستگی و یا ساییدگی ناشی از افت فشار زیاد در شیرهای تنظیم در آنها وجود ندارد. بنابراین هندسه طرح و روش‌های ساخت این نوع پمپ‌ها به نسبت آسانتر است. این میکروپمپ‌ها از گونه‌های متفاوت برهم کنش بین سیال و جریان الکتریکی

¹ Positive displacement

برای ایجاد نیرو در مایع استفاده می‌کنند. همچنین این میکروپمپ‌ها برای تامین مومنتوم سیال، باید انرژی غیرمکانیکی را به انرژی جنبشی تبدیل کنند [16].

اما از معایب میکروپمپ‌های غیرمکانیکی محدودیت‌هایی است که در استفاده از سیالات با هدایت الکتریکی کم ایجاد می‌شود. مثلا در میکروپمپ‌های الکتروهیدرودینامیک، سیال هادی، باید دارای ضریب هدایت الکتریکی در حدود $10^{-6} - 10^{-12} \text{ siemens/m}$ باشد که متانول و اتانول از این دسته از سیالات هستند [16]. این میکروپمپ‌ها به چهار دسته کلی نازل - دیفیوزر، الکتروهیدرودینامیک¹، مگنتوهیدرودینامیک²، الکتروسینتیک که از اثرات الکتروفورتیک برای جدایش مولکول‌ها استفاده می‌کند، تقسیم می‌شوند. پمپ‌های مگنتوهیدرودینامیک که بر اساس جریان الکتریکی و میدان مغناطیسی اعمالی، جریان سیال را ایجاد می‌کنند به دو دسته جریان متناوب و جریان مستقیم تقسیم می‌شوند. در مقایسه با انواع دیگر میکروپمپ‌های غیرمکانیکی، پمپ‌های هیدرودینامیک مغناطیسی فواید زیادی از جمله فرآیند ساده ساخت، نداشتن قسمت‌های متحرک، ولتاژهای مورد نیاز کم برای تحریک، خطر کم انسداد یا آسیب ناشی از مواد مولکولی، خطر کم خستگی مکانیکی، جریان پیوسته سیال و امکان پمپ کردن سیال در دو جهت را دارا می‌باشند. شکل 1-3 نمونه‌ای از میکروپمپ مگنتوهیدرودینامیک را نشان می‌دهد.



شکل 1-3- نمونه‌ای از میکروپمپ مگنتوهیدرودینامیک

¹ EHD

² MHD

در این دسته پمپ‌ها جریان الکتریکی و میدان مغناطیسی عمود برهم از محلول الکترولیتی عبور می‌کنند، در نتیجه نیروی لورنتز در تمام کانال این میکروپمپ ایجاد می‌شود. همچنین نوع طراحی این دسته از پمپ‌ها امکان استفاده از چند پمپ مجزا بر روی یک تکه سیلیکونی برای ایجاد یک سیستم میکروسیالاتی را فراهم می‌کند. این نیرو به ترتیب در سلول‌های جریانی، اختلاف فشار ایجاد کرده، که در نتیجه جریان سیال بوجود می‌آید. امروزه این پمپ‌ها در صنایع پزشکی (میکروسرنگ‌ها و ...)، تجاری و فضایی¹، تامین دارو، تحقیقات بیوپزشکی، زیست‌شناسی و صنایع رنگ‌نگاری کاربرد دارند.

1-2- مروری بر کارهای گذشته

پمپ مگنتوهیدرودینامیک یکی از مهمترین سیستم‌های میکروسیالاتی است که هیچ عضو متحرکی ندارد و جریان پیوسته ایجاد می‌کند و کاربردهای مهمی در مطالعات بیوپزشکی دارد. منبع پمپاژ در میکروپمپ‌های هیدرودینامیک مغناطیسی نیروی لورنتز بوده که در نتیجه برهم‌کنش بین میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ایجاد می‌شود. مطالعات جدید تئوری و تجربی روی وسایل هیدرودینامیک مغناطیسی از نوع جریان متناوب و جریان مستقیم انجام شده است. در این راستا تحقیقات زیادی صورت گرفته که در ادامه به بخشی از آنها اشاره می‌شود:

وینوویچ² و همکاران دو روش المان محدود گالرکین³ و فرمول‌بندی روش تفاضل محدود⁴ را بکار گرفتند تا جریان پمپ هیدرودینامیک مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کنند [17]. آنها در این تحقیق اثرات عدد رینولدز، عدد هارتمن و هدایت دیواره بر روی میدان‌های هیدرودینامیکی و الکتریکی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها پیش‌گویی می‌کرد که پروفیل‌های سرعت

¹National Aeronautics and Space Administration (NASA)

² Winowich

³ Galerkin-Scheme finite element method

⁴ Finite difference method

محوری بدلیل میدان مغناطیسی بکار گرفته شده از شکل سهمی به صورت M چرخیده، تغییر شکل می‌دهد.

شوجی¹ و ایساشی به مطالعه سیستم‌های میکروسیالاتی² پرداختند [18]. آنها در این مطالعات میکروپمپ‌ها را نیز مورد بررسی قرار دادند.

هوگز³ و همکاران جریان کوئت غیرقابل تراکم هیدرودینامیک مغناطیسی را در شرایط یک‌بعدی و دوبعدی با جریان هارتمن در یک میدان مغناطیسی ثابت مدل کردند [19].

لی و جنگ⁴ به صورت تجربی و تئوریک به مطالعه یک میکروپمپ هیدرودینامیک مغناطیسی پرداختند. آنها عملکرد میکروپمپ را با اندازه‌گیری اختلاف هد و نرخ جریان بررسی کردند. در این آزمایش‌ها تولید حباب بدلیل الکترولیز مایع هادی نیز مشاهده شد. آنها همچنین تئوری، روش ساخت و نتایج تجربی یک میکروپمپ هیدرودینامیک مغناطیسی از نوع جریان مستقیم را توصیف کردند. پمپاژ چندین محلول الکترولیتی نیز آزمایش شده است [20].

ژانگ⁵ و همکاران استفاده از هیدرودینامیک مغناطیسی برای به گردش درآوردن سیالات در لوله‌های ساخته شده از تسمه‌های سرامیکی را مورد بررسی قرار دادند [21]. این بررسی با بکار گرفتن محلول نمکی و آب یون‌زدایی شده به عنوان سیال هادی انجام شد.

ونگ⁶ و همکاران معادلات هیدرودینامیک مغناطیسی دو بعدی ساده شده و جداسازی شده را که در آن عبارت نیروی لورنتز به عنوان عبارت فشار در معادلات مومنتوم جایگذاری شده است را بررسی کردند [16]. معادلات ساده شده حاصل با روش عددی تفاضل محدود حل شدند. در این فرمول‌بندی توزیع سرعت محوری فرض شده است.

¹ Shoji

² Micro Fluidic

³ Hughes

⁴ Lee & Jang

⁵ Zhong

⁶ Wang

باو و کیان¹ جریان هیدرودینامیک مغناطیسی از یک الکترولیت ریداکس² در یک کانال مستقیم را بصورت تئوریک مطالعه کردند و معادلات مومنتوم و جابجایی کوپل شده را حل کردند [22]. علاوه بر پمپاژ هیدرودینامیک مغناطیسی³، مطالعه بر روی سیستم‌های ترکیبی و شبکه‌های میکروسیالاتی که از پمپ استفاده می‌کنند نیز انجام شده است.

هومسی⁴ و همکاران برای جلوگیری از تولید حباب‌های گاز، عملکرد میکروپمپ هیدرودینامیک مغناطیسی از نوع جریان مستقیم⁵ را در دانسیته‌های جریان که در آن هیچ حباب گازی در کانال پمپ رویت نمی‌شد، توصیف کردند [23].

دویری و عبدالله⁶ مطالعه‌ای را بر روی جریان هیدرودینامیک مغناطیسی انجام دادند [24]. آنها بصورت نظری جریان آرام کاملاً توسعه‌یافته گذرا و توزیع درجه حرارت را در یک میکروپمپ مطالعه کردند. در این تحقیق همچنین اثر پارامترهای گوناگون بر روی دما و سرعت گذرا ارائه شده است.

1-3- هدف و موضوع این تحقیق

هدف از این تحقیق، بررسی جریان توسعه‌یافته آرام سیال هادی جریان الکتریسته در یک میکروپمپ مغناطیسی در حالت گذرا است. بدین منظور تاثیر تغییرات پارامترهای مختلف نظیر عدد هارتمن، عدد استانتون، عدد اکرت، عدد پرائتل و نسبت ابعادی⁷ بر میدان جریان و دما مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. همچنین به مقایسه حالت‌های جریان متناوب و جریان مستقیم با یکدیگر پرداخته می‌شود.

شکل 1-4 هندسه مورد نظر با شرایط مرزی مشخص را نشان می‌دهد. این شکل یک کانال جریان به پهنای w و ارتفاع h و طول L را نشان می‌دهد که دیواره‌های آن دما ثابت

¹ Bau & Qian

² Redox

³ Magneto hydrodynamic(MHD)

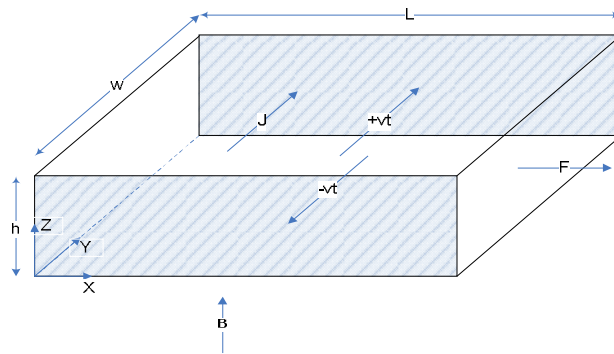
⁴ Homsy

⁵ DC

⁶ Duwairi & Abdullah

⁷ Aspect ratio

هستند. سیال عامل، سیالی هادی الکتریسیته با دانسیته ρ ، ویسکوزیته دینامیکی μ و ضریب هدایت الکتریکی σ می‌باشد. مختصات x, y و z به ترتیب در امتداد محور، پهنا و ارتفاع کانال می‌باشند. کانال در معرض یک اختلاف پتانسیل V است که توسط الکترودهای روبروی هم اعمال می‌شود که جریان الکتریکی با دانسیته J را القاء می‌کند. همچنین کانال در معرض یک میدان مغناطیسی یکنواخت با شدت B در جهت z قرار گرفته است. درهم کنش میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی نیروی لورنتز حجمی $\mathbf{J} \times \mathbf{B}$ که عمود بر هردوی آنها می‌باشد را ایجاد می‌کند. از نیروی لورنتز برای پمپ کردن سیالات هادی در میکروکانال‌ها استفاده می‌شود. ابعاد میکروپمپ‌ها از 10 میکرومتر تا 2 میلی‌متر متغیر می‌باشد.



شکل 4-1- نمای شماتیک از یک میکروپمپ مگنتوهیدرودینامیک

4-1- روش انجام تحقیق

روش حل مورد نظر در این تحقیق، روش عددی می‌باشد. برای حل معادلات حاکم یک برنامه کامپیوتری مناسب به زبان فرترن تهیه می‌شود. ابتدا یک شبکه نقاط مناسب بر میدان حل منطبق نموده و سپس معادلات حاکم با استفاده از روش حجم محدود (با انتگرال‌گیری بر روی شبکه منطبق شده) منفصل می‌شود. برای انفصال معادلات از روش کاملاً ضمنی استفاده می‌شود. معادلات جبری بدست آمده با استفاده از یک روش تکرار حل می‌شوند. به‌منظور اطمینان از صحت نتایج حاصل از کد کامپیوتری، برای چند حالت مختلف که نتایج آن در متون قبلی موجود می‌باشد، برنامه کامپیوتری اجرا و نتایج مقایسه می‌شوند.

2- توصیف هیدرودینامیک مغناطیسی و کاربردهای آن

2-1- مقدمه

در این فصل ابتدا توصیفی از مبحث هیدرودینامیک مغناطیسی بیان می‌شود و پارامترهای مهم در این مبحث شناخته می‌شوند. در قسمت بعد به بیان تاریخچه‌ای از هیدرودینامیک مغناطیسی پرداخته می‌شود و پس از آن قوانین اصلی الکترودینامیک همراه با مثال‌هایی بطور خلاصه بیان شده و نهایتاً کاربردهای هیدرودینامیک مغناطیسی در بخش‌های مختلفی از صنعت بیان می‌شود. تمام مطالب بخش‌های (2-2)، (3-2)، (4-2) و (5-2) برگرفته از مرجع [25] می‌باشد.

2-2- هیدرودینامیک مغناطیسی چیست؟

امروزه و در اکثر صنایع مهم، میدان‌های مغناطیسی بطور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌عنوان نمونه، در صنعت تولید مواد، از این میدان‌ها به منظور گرمایش، پمپاژ، همزدن¹ و شناورسازی² فلزات مذاب و همچنین تضعیف جریان‌های جابجایی آزاد درون مذاب استفاده می‌شود. در صنایع نظامی³ و صنعت هوافضا، سیستم‌های رانش و پیش‌رانش

¹ Stirring

² Levitation

³ Military industry