

اللهم أنت الأول فليس قبلك شيء وأنت الآخر فليس بعدك شيء وأنت الظاهر فليس فوقك شيء وأنت الباطن فليس دونك شيء اقض عني الدين وأغنني من الفقر

دانشکده فنی

گروه مهندسی مکانیک

گرایش تبدیل انرژی

بررسی عددی انتقال حرارت جابجایی اجباری مگنتوهیدرودینامیک نانوسیال در یک میکروکانال با روش بولتزمن شبکه‌ای

از:

سید شایان عابدینزاده

استاد راهنما:

دکتر محمد کلته

بهمن ماه ۱۳۹۳

با نهایت احترام

تقدیم به پدر و مادر مهربانم

تقدیر و تشکر:

بدین وسیله مراتب قدردانی خود را نسبت به استاد راهنمای بزرگووارم جناب آقای دکتر محمد کلتی که در انجام این رساله مرا یاری دادند ابراز می‌نمایم.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ب	تقدیم
پ	تقدیر و تشکر
ت	فهرست مطالب
چ	فهرست جداول
ح	فهرست اشکال
ذ	فهرست علائم و اختصارات
ز	چکیده فارسی
ژ	چکیده انگلیسی

فصل اول: پیش‌گفتار

۲	۱-۱ مقدمه
۵	۲-۱ ساختار پایان‌نامه حاضر

فصل دوم: مروری بر پیشینه تحقیق

۸	۱-۲ مقدمه
۸	۲-۲ مروری بر مطالعات و پژوهش‌های انجام‌شده
۱۷	۳-۲ اهداف و نوآوری‌های تحقیق حاضر

فصل سوم: آشنایی با دیدگاه مزوسکوپی و روش شبکه بولتزمن

۲۰	۱-۳ مقدمه
۲۱	۲-۳ روش دینامیک مولکولی
۲۲	۳-۳ شبکه خودکار سلول گاز

۲۴	..... ۴-۳ روش شبکه بولتزمن
۲۷	..... ۱-۴-۳ شرایط مرزی در روش شبکه بولتزمن
۲۸	..... ۱-۱-۴-۳ مرزهای جسم جامد
۲۹	..... ۲-۱-۴-۳ مرزهای باز
۳۰	..... ۲-۴-۳ مقایسه روش شبکه بولتزمن با روش دینامیک سیالات محاسباتی

فصل چهارم: مدل سازی عددی

۳۳	..... ۱-۴ مقدمه
۳۳	..... ۲-۴ فیزیک مسئله
۳۷	..... ۳-۴ روش شبکه بولتزمن
۳۷	..... ۱-۳-۴ روش شبکه بولتزمن برای میدان سرعت
۴۰	..... ۲-۳-۴ روش شبکه بولتزمن برای میدان دما
۴۲	..... ۳-۳-۴ شرایط اولیه
۴۲	..... ۴-۳-۴ شرایط مرزی
۴۳	..... ۱- ۴-۳-۴ شرط مرزی سرعت
۴۵	..... ۲- ۴-۳-۴ شرط مرزی دما
۴۶	..... ۵-۳-۴ الگوریتم روش شبکه بولتزمن
۴۸	..... ۴-۴ شبکه محاسباتی و بررسی استقلال از شبکه

فصل پنجم: نتایج حل عددی

۵۲	..... ۱-۵ مقدمه
۵۲	..... ۲-۵ هدف کلی حل مسئله حاضر
۵۳	..... ۳-۵ اعتبار سنجی روش عددی شبکه بولتزمن و کد نوشته شده
۵۵	..... ۴-۵ نتایج شبیه سازی عددی
۵۵	..... ۱-۴-۵ اثر تغییرات عدد رینولدز و عدد هارتمن
۶۲	..... ۲-۴-۵ اثر تغییر کسر حجمی نانو ذرات روی انتقال حرارت در میکروکانال

۳-۴-۵ اثر تغییر قطر نانوذرات روی انتقال حرارت در میکروکانال ۶۲

۴-۴-۵ اثر دنداندار شدن دیواره میکروکانال ۶۳

فصل ششم: جمع‌بندی و پیشنهاد برای ادامه‌ی کار

۱-۶ مقدمه ۷۰

۲-۶ جمع‌بندی ۷۰

۳-۶ پیشنهاد برای ادامه‌ی کار ۷۱

فهرست منابع ۷۲

فهرست جداول

صفحه

عنوان

فصل دوم: مروری بر پیشینه تحقیق

جدول ۱-۲. خلاصه‌ای از پیشینه‌ی تحقیق ۱۶

فصل چهارم: مدل‌سازی عددی

جدول ۱-۴. خواص آب و آلومینا ۳۴

جدول ۲-۴. بررسی استقلال از شبکه ۴۹

فصل پنجم: نتایج حل عددی

جدول ۱-۵. مقایسه عدد ناسلت از حل عددی حاضر با رابطه تحلیلی (۵-۱) ۵۳

جدول ۲-۵. درصد افزایش عدد ناسلت متوسط در میکروکانال با عدد رینولدز در هارتمن ثابت ۶۰

جدول ۳-۵. درصد افزایش عدد ناسلت متوسط در میکروکانال با عدد هارتمن در رینولدز ثابت ۶۰

جدول ۴-۵. درصد افزایش C_{fRe} متوسط در میکروکانال با عدد رینولدز در هارتمن ثابت ۶۱

جدول ۵-۵. درصد افزایش C_{fRe} متوسط در میکروکانال با عدد هارتمن در رینولدز ثابت ۶۱

فصل اول: پیش گفتار

شکل ۱-۱. چگونگی ایجاد اثر مگنتوهیدرودینامیک ۵

فصل سوم: آشنایی با دیدگاه مزوسکوپی و روش شبکه بولتزمان

شکل ۱-۳. ماهیت میکروسکوپی سیال ۲۰

شکل ۲-۳. ارتباط بین سه دیدگاه ماکروسکوپی، میکروسکوپی و مزوسکوپی ۲۲

شکل ۳-۳. مدل شبکه FHP در روش شبکه خودکار سلول گازی ۲۳

شکل ۴-۳. یک حالت برخورد در مدل شش سرعتی ۲۳

شکل ۵-۳. شبکه یک بعدی بولتزمان شامل D1Q3 و D1Q5 ۲۶

شکل ۶-۳. شبکه D2Q9 ۲۶

شکل ۷-۳. شبکه D3Q19 ۲۶

شکل ۸-۳. مرحله برخورد و انتشار در مدل D2Q9 ۲۷

شکل ۹-۳. توابع توزیع مجهول روی مرزها ۲۸

شکل ۱۰-۳. شرط برگشت به عقب روی دیواره کانال ۲۸

شکل ۱۱-۳. شرایط مرزی تناوبی و تقارن ۳۰

فصل چهارم: مدل سازی عددی

شکل ۱-۴. فیزیک مسئله ۳۴

شکل ۲-۴. شبکه D2Q9 ۳۸

شکل ۳-۴. توابع توزیع در مرزهای میکروکانال ۴۳

شکل ۴-۴. الگوریتم روش شبکه بولتزمان ۴۷

شکل ۵-۴. بخشی از پروفیل سرعت بی بعد توسعه یافته در مقطع میکروکانال ۴۹

شکل ۴-۶. نمایی از شبکه محاسباتی ۵۰

فصل پنجم: نتایج حل عددی

شکل ۵-۱. مقایسه نتایج حاضر با حل تحلیلی ۵۴

شکل ۵-۲. مقایسه نتایج کد حاضر با کد رژیسی و همکاران ۵۴

شکل ۵-۳. مقایسه نتایج کد حاضر با نتایج کار انجام شده توسط گکالتن و دولیکروبیچ ۵۵

شکل ۵-۴. کانتور سرعت بی بعد در جهت محور طولی و خطوط جریان ۵۶

شکل ۵-۵. کانتور دمای بی بعد ۵۶

شکل ۵-۶. کانتور دمای با بعد ۵۶

شکل ۵-۷. خطوط جریان و خطوط هم‌دما ($Re = 5, \phi = 2\%$) ۵۷

شکل ۵-۸. خطوط جریان و خطوط هم‌دما ($Re = 25, \phi = 2\%$) ۵۷

شکل ۵-۹. تغییرات سرعت بی بعد در طول خط مرکزی میکروکانال ۵۸

شکل ۵-۱۰. تغییرات دمای بی بعد در طول خط مرکزی میکروکانال ۵۸

شکل ۵-۱۱. تغییرات دمای با بعد در طول خط مرکزی میکروکانال ۵۹

شکل ۵-۱۲. تغییرات سرعت بی بعد توسعه یافته در انتهای میکروکانال با عدد هارتمن ۵۹

شکل ۵-۱۳. تغییرات عدد ناسلت موضعی با عدد رینولدز ۶۰

شکل ۵-۱۴. تغییرات عدد ناسلت متوسط با عدد رینولدز و هارتمن ۶۰

شکل ۵-۱۵. تغییرات $C_f Re$ در طول میکروکانال با اعداد رینولدز مختلف ۶۱

شکل ۵-۱۶. تغییرات $C_f Re$ در طول میکروکانال با اعداد هارتمن مختلف ۶۱

شکل ۵-۱۷. تغییرات ضریب انتقال حرارت متوسط بی بعد با تغییرات کسر حجمی و عدد رینولدز ۶۲

شکل ۵-۱۸. تغییرات ضریب انتقال حرارت متوسط بی بعد با تغییرات کسر حجمی و عدد هارتمن ۶۲

شکل ۵-۱۹. تغییرات ضریب انتقال حرارت متوسط بی بعد با تغییرات کسر حجمی و قطر نانوذرات ۶۳

شکل ۵-۲۰. کانتور سرعت بی بعد در جهت محور طولی و خطوط جریان در میکروکانال با دندان مستطیلی ۶۴

شکل ۵-۲۱. کانتور سرعت بی بعد در جهت محور طولی و خطوط جریان در میکروکانال دندانه دار ۶۵

- شکل ۵-۲۲. تغییرات عدد ناسلت متوسط با عدد رینولدز در میکروکانال دنداندار ۶۶
- شکل ۵-۲۳. تغییرات ضریب اصطکاک متوسط با عدد رینولدز در میکروکانال دنداندار ۶۶
- شکل ۵-۲۴. تغییرات عدد ناسلت متوسط با عدد هارتمن در میکروکانال دنداندار ۶۷
- شکل ۵-۲۵. تغییرات ضریب اصطکاک متوسط با عدد هارتمن در میکروکانال دنداندار ۶۷
- شکل ۵-۲۶. درصد تغییرات افت فشار نسبی با عدد رینولدز در میکروکانال دنداندار ۶۸
- شکل ۵-۲۷. درصد تغییرات افت فشار نسبی با عدد هارتمن در میکروکانال دنداندار ۶۸

فهرست علائم و اختصارات

علائم انگلیسی	واحد	تعریف
B_o	T	شدت میدان مغناطیسی
c		ثابت تجربی
C		سرعت شبکه میکروسکوپی
C_f		ضریب اصطکاک
C_p	J / kgK	ظرفیت گرمایی ویژه
C_s		سرعت صوت در شبکه
d	m	قطر
F		نیروی خارجی بی‌بعد
f		تابع توزیع چگالی
f^{eq}		تابع توزیع چگالی تعادلی
g		تابع توزیع انرژی داخلی
g^{eq}		تابع توزیع انرژی داخلی تعادلی
H	m	ارتفاع میکروکانال
Ha		عدد هارتمن
h	W / m^2K	ضریب انتقال حرارت جابجایی
k	W / mK	ضریب هدایت گرمایی
L	m	طول میکروکانال
Nu		عدد ناسلت
Pr		عدد پراوندل
Re		عدد رینولدز
T	K	دما
t	s	زمان
u, v	m / s	مؤلفه‌های سرعت

علائم یونانی	واحد	تعریف
α		شماره جهت شبکه
χ	m^2 / s	ضریب پخش گرما
ε	J	انرژی داخلی
φ		کسر حجمی نانوذرات
μ	$N s / m^2$	ویسکوزیته دینامیکی
ρ	kg / m^3	چگالی

v	m^2 / s	ویسکوزیته سینماتیکی
θ		دمای بی‌بعد
τ		زمان آسایش
ω		ضریب وزنی

		تعریف
زیرنویس		
in		ورودی
f		سیال خالص
ave		متوسط
nf		نانوسیال
s		نانوذرات
w		دیواره

بررسی عددی انتقال حرارت جابجایی اجباری مگنتوهیدرودینامیک نانوسیال در یک میکروکانال با روش بولتزمن شبکه‌ای

سید شایان عابدین زاده

در پژوهش حاضر، جریان و انتقال حرارت اجباری نانوسیال آب-آلومینیوم اکسید در داخل یک میکروکانال افقی تحت میدان مغناطیسی یکنواخت خارجی عمود بر جریان سیال به کمک روش عددی شبکه بولتزمن مورد بررسی قرار گرفته است. میکروکانال از دو صفحه تخت موازی تشکیل شده و به دلیل عدم تغییرات در بعد سوم، مسئله به صورت دوبعدی مدل شده است. دمای دیواره پایینی میکروکانال ثابت بوده و دیواره بالایی عایق فرض شده است. نانوسیال با سرعت و دمای یکنواخت وارد میکروکانال می‌شود. از روش همگن برای مدل کردن نانوسیال استفاده شده و روش عددی شبکه بولتزمن برای به دست آوردن میدان سرعت و دمای نانوسیال بکار رفته است. اثر تغییرات عدد رینولدز (۵-۲۵)، عدد هارتمن (۰-۱۰)، کسر حجمی نانوذرات آلومینیوم اکسید (۰-۴٪)، قطر نانوذرات و دندانه‌دار شدن دیواره میکروکانال روی عدد ناسلت، ضریب اصطکاک و افت فشار در میکروکانال بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهند که اضافه شدن میدان مغناطیسی باعث افزایش سرعت جریان در نزدیکی دیواره میکروکانال می‌شود. افزایش عدد هارتمن از ۰ به ۱۰ در رینولدز ۲۵ و کسر حجمی ۲٪ موجب افزایش ۲/۷٪ در عدد ناسلت متوسط و افزایش ۸۶٪ در ضریب اصطکاک متوسط می‌شود. همچنین افزایش ۴٪ کسر حجمی نانوذرات در عدد رینولدز ۵، باعث افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط تا ۱۷٪ در میکروکانال می‌شود. به علاوه استفاده از دندانه مستطیلی در عدد رینولدز ۲۵، باعث افزایش ۱۰٪ در عدد ناسلت متوسط و افزایش ۱۵۰٪ در افت فشار نسبت به حالت بدون دندانه می‌شود.

کلیدواژه: روش شبکه بولتزمن، نانوسیال، مگنتوهیدرودینامیک، میکروکانال

Abstract

Numerical investigation of nanofluid MHD forced convection heat transfer in a microchannel using lattice Boltzmann method

Seyed Shayan Abedinzadeh

In the present study, flow and forced convection heat transfer of water- Al_2O_3 nanofluid inside a horizontal microchannel under the influence of an external uniform magnetic field perpendicular to the fluid flow is studied using numerical lattice Boltzmann method. Microchannel consists of two parallel flat plates and due to the lack of changes in the third direction; the problem is modeled two dimensionally. Temperature of the microchannel's lower wall is constant and the upper wall is insulated. Nanofluid enters the microchannel with uniform velocity and temperature. Homogeneous method is used for nanofluid modeling and numerical lattice Boltzmann method is used to obtain the nanofluid velocity and temperature fields. The effects of pertinent parameters such as the Reynolds number (5-25), the Hartmann number (0-10), the nanoparticles volume fraction (0-4%), the nanoparticles size and constriction of microchannel on the Nusselt number, the friction coefficient and pressure drop are investigated. The results show that imposing the magnetic field increases the flow velocity near the microchannel walls. Increasing the Hartman number from 0 to 10 at $\text{Re}=25$ and $\phi=2\%$ increases the average Nusselt number and the average friction coefficient to 2.7% and 86% respectively. Also Increasing the nanoparticles volume fraction to 4% at $\text{Re}=5$ improves the heat transfer coefficient in the microchannel up to 17%. Finally, constriction of the microchannel walls using rectangular indentation increases the average Nusselt number and pressure drop up to 10% and 150% respectively at $\text{Re}=25$.

Key words: Lattice Boltzmann Method, Nanofluid, MHD, Microchannel

فصل اول:

پیش‌گفتار

۱-۱ مقدمه

امروزه بررسی جریان سیالات در مقیاس میکرو به دلیل کاربردهای گسترده آن در صنعت مانند دستگاه‌های میکروالکترومکانیکی^۱، سلول سوختی، پالایش نفت، آنالیزهای شیمیایی و زیستی و ابزار پزشکی بسیار مورد توجه است. یکی از کاربردهای مهم میکروجریان‌ها ساخت مبدل‌های حرارتی در مقیاس‌های کوچک است؛ زیرا پیشرفت‌های امروزی در حوزه صنایع الکترونیکی موجب کاهش روزافزون در اندازه قطعات و افزایش توان و گرمای ایجاد شده در آن‌ها شده است؛ بنابراین روش‌های خنک کاری مؤثرتری برای نگهداری و حفظ عملکرد مناسب در این قطعات مورد نیاز است. میکروکانال‌ها^۲ به دلیل داشتن سطح انتقال حرارت بیشتر نسبت به سایر وسایل متداول در انتقال حرارت، قابلیت بهتری در انتقال و پخش گرما دارند. هرچه که قطر هیدرولیکی میکروکانال کاهش می‌یابد، ضریب انتقال حرارت افزایش یافته و میکروکانال عملکرد بهتری را در خنک کاری از خود نشان می‌دهد، هرچند که این موضوع موجب افزایش افت فشار می‌شود. به همین دلیل طراحی بهینه میکروکانال تا حد زیادی به شرایط کاری، قابلیت اطمینان و عملکرد حرارتی مورد نیاز بستگی دارد.

با پیشرفت‌های اخیر، بررسی تجربی رفتار سیالات در دستگاه‌های میکرو امکان پذیر شده است. با این حال بررسی‌های تئوری و عددی هنوز مورد نیاز است تا مکانیزم‌های اصلی و اثرات مختلف درگیر در این جریان‌ها را مشخص نماید. از طرفی به کار بردن روش‌های تحلیلی و تئوری معمولاً نیازمند بکار بردن شرط‌های ساده کننده است و به همین دلیل، به‌ویژه در مواردی که امکان آزمایش مستقیم وجود ندارد معمولاً از روش‌های عددی برای بررسی میکروجریان‌ها استفاده می‌شود.

جریان در دستگاه‌های میکرو می‌تواند شامل سیالات گازی، مایع و یا چند فاز باشد. برای جریان سیالات گازی در مقیاس میکرو، به علت اثر رقت، فرض پیوستگی سیال دیگر مناسب نیست. در این مقیاس پدیده‌هایی مانند لغزش سرعت و پرش دمایی در مرزهای جامد در آزمایش‌ها مشاهده شده است. از سوی دیگر برای جریان سیالات مایع در مقیاس میکرو، هرچند سیال را می‌توان پیوسته در نظر گرفت اما باین حال تعاملات میکروسکوپی و پدیده‌های سطحی، مانند لغزش سطحی که معمولاً در مقیاس ماکروسکوپی در نظر گرفته نمی‌شوند باید مورد توجه قرار گیرند [۱].

جریان‌ها در مقیاس میکرو بر اساس عدد نادسن^۳ دسته‌بندی می‌شوند. این عدد به صورت نسبت متوسط فاصله آزاد بین مولکولی^۴ به طول مشخصه میدان جریان تعریف می‌شود ($Kn = \lambda/D_h$). در میکروکانال ممکن است λ از مرتبه D_h

۱ Microelectromechanical systems (MEMS)

۲ Microchannels

۳ Knudsen number

۴ Mean free path

باشد، در نتیجه فرض پیوستگی که معادلات بقا بر اساس آن به دست آمده اند دیگر معتبر نیست. به این ترتیب اگر عدد نادسن کمتر از $0/001$ باشد سیال پیوسته فرض می شود اما با افزایش عدد نادسن تا $0/1$ و 10 سیال به ترتیب وارد رژیم های لغزشی و گذار شده و برای نادسن بزرگ تر از 10 جریان سیال آزاد مولکولی است. به این ترتیب متناسب با رژیم جریان باید از روش های عددی مناسب برای شبیه سازی جریان سیال استفاده کرد.

در روش های عددی در مقیاس ماکروسکوپی^۱، مانند روش های مرسوم در دینامیک سیالات محاسباتی^۲ سیال پیوسته فرض می شود. در این روش ها معادلات بقا به طور مستقیم و با استفاده از شیوه های مناسب گسسته شده و به صورت عددی حل می شوند. معمولاً استفاده از این روش ها برای در نظر گرفتن فعل و انفعالات میکروسکوپی^۳ مانند لغزش سطحی که در جریان های در مقیاس میکرو مشاهده می شود با دشواری هایی همراه است. از سوی دیگر روش های شبیه سازی میکروسکوپی، مانند دینامیک مولکولی^۴، به مطالعه رفتار سیال به وسیله بررسی تعامل تک تک مولکول های سیال با یکدیگر می پردازند. به عنوان نمونه در روش دینامیک مولکولی ساختار میکروسکوپی سیال و فعل و انفعالات بین مولکول ها به خوبی در نظر گرفته می شوند اما حجم بسیار زیاد محاسبات مورد نیاز، استفاده این روش را حتی با استفاده از ابر رایانه های امروزی با مشکل همراه می کند و کاربرد این روش را به مقیاس های بسیار کوچک و گام های زمانی بسیار کم محدود می کند.

بین روش های ماکروسکوپی و میکروسکوپی، روش های مزوسکوپی^۵ مانند روش دینامیک ذرات پراکنده^۶ و روش شبکه بولتزمن^۷ قرار دارند. دینامیک ذرات پراکنده یک روش بدون مش و ذره ای است. این روش در واقع نسخه ای ساده شده از روش دینامیک مولکولی بوده که در آن ذرات سیال بزرگ در نظر گرفته می شوند. یک ذره در این روش نماینده مجموعه ای از مولکول های سیال است. این ذرات با یکدیگر به واسطه نیروهای بین مولکولی تعامل دارند. باین حال این روش شامل گروهی از متغیرها است که مقادیر آن ها مستقیماً به متغیرهای ماکروسکوپی در سیال مربوط نمی شود. در روش شبکه بولتزمن، سیال تشکیل شده از ذراتی مجازی در نظر گرفته می شود. این ذرات روی مش های شبکه، دائماً حرکت کرده و با یکدیگر برخورد می کنند [۱].

روش شبکه بولتزمن در دو دهه اخیر به سرعت توسعه یافته است و توجه محققین به کاربرد این روش در شبیه سازی جریان سیالات و فرایندهای دیگر جلب شده است. در این روش بجای حل معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی، معادله بولتزمن به صورت عددی روی شبکه گسسته شده حل می شود. با حل این معادله تابع توزیع چگالی و انرژی سیال به دست آمده و با

۱ Macroscopic

۲ Computational fluid dynamics (CFD)

۳ Microscopic

۴ Molecular Dynamics (MD)

۵ Mesoscopic

۶ Dissipative particle dynamics (DPD)

۷ Lattice Boltzmann method (LBM)

استفاده از آن پارامترهای ماکروسکوپیک مانند میدان سرعت و دمای سیال محاسبه می‌شوند. ماهیت جنبشی روش شبکه بولتزمن آن را تا حدودی از دیگر روش‌های عددی متداول جدا کرده است. برای مثال ترم جابجایی در روش شبکه بولتزمن در فضای سرعت، خطی بوده و این موضوع باعث کاهش محاسبات موردنیاز در مقایسه با روش‌های متداول در دینامیک سیالات محاسباتی می‌شود. همچنین میدان فشار را می‌توان به‌طور مستقیم از توزیع چگالی محاسبه کرد و دیگر نیازی به حل معادله پوآسن نیست. برخی دیگر از مزیت‌های روش شبکه بولتزمن را می‌توان شامل سادگی در کد نویسی برای این روش، راحت‌تر بودن کار با شرایط مرزی پیچیده و ساده‌تر بودن استفاده از الگوریتم‌های پردازش موازی با آن دانست [۲].

در کاربردهای عملی که در آن‌ها نیاز است تا گرمای قابل توجهی از یک سطح بسیار کوچک انتقال یابد، سیال خنک‌کننده باید خواص انتقال حرارت مؤثرتری داشته باشد. در این زمینه استفاده از نانوسیالات^۱ به دلیل هدایت حرارتی بالاتر نسبت به سیالات متداول می‌تواند کاربردی باشد. نانوسیالات تشکیل شده‌اند از نانوذراتی مانند اکسید سرامیک‌ها، فلزات و نیمه‌هادی‌ها (با اندازه‌ای کمتر از ۱۰۰ نانومتر) که در یک سیال پایه مانند آب، اتیلن گلیکول، روغن‌موتور و یا مبردها به حالت تعلیق درآمده‌اند. نانوسیالات ویژگی‌هایی دارند که آن‌ها را از سایر مخلوط‌های جامد-مایع که در آن‌ها ذرات جامد، اندازه‌ای میلی‌متری یا میکرومتری دارند جدا می‌کنند؛ زیرا ذرات نانو به قدری کوچک هستند که مانند مولکول‌های سیال رفتار می‌کنند. اکثر مطالعات در زمینه‌ی نانوسیالات نشان می‌دهد که اضافه کردن نانوذرات به سیال پایه باعث بهبود عملکرد حرارتی سیال پایه می‌شود. با این وجود، نانوسیالات می‌توانند موجب افت فشار بیشتر و ایجاد رسوب در میکروکانال در دراز مدت شوند. علاوه بر این، برای شبیه‌سازی جامع یک نانوسیال باید ساختار، شکل، اندازه، نوع و همچنین تجمع و یا پراکندگی نانوذرات را در نانوسیال در نظر گرفت. به این علت مدل‌های مختلفی برای محاسبه خواص نانوسیالات ارائه شده است.

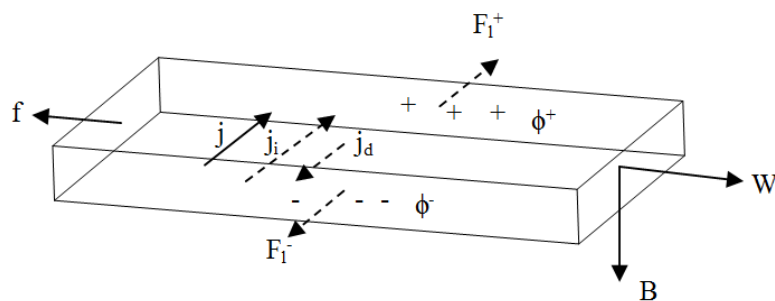
میدان مغناطیسی در بسیاری از پدیده‌های طبیعی اثرگذار بوده و کاربردهای صنعتی زیادی دارد. به حرکت یک سیال هادی الکتریسته تحت اثر یک میدان مغناطیسی مگنتوهیدرودینامیک^۲ گفته می‌شود. پیدایش مگنتوهیدرودینامیک را می‌توان با آزمایش‌هایی که فارادی انجام داد مرتبط دانست. او سعی کرد تا پتانسیل الکتریکی القا شده در دو سمت رودخانه تایمز که به علت حرکت آب رودخانه (یک هادی ضعیف الکتریسته) در میدان مغناطیسی زمین ایجاد می‌شود را اندازه بگیرد. امروزه اثر مگنتوهیدرودینامیک کاربردهای زیادی در صنعت دارد و در بسیاری از کاربردهای عملی مانند ژنراتورهای مگنتوهیدرودینامیک، پمپ‌ها، مخازن زمین‌گرمایی، عایق‌های حرارتی، جریان‌سنج‌ها و وسایل الکترونیکی و میکروالکترونیکی، از اثر یک میدان مغناطیسی روی سیال هادی الکتریسته استفاده می‌شود. وقتی یک سیال هادی الکتریکی تحت یک میدان مغناطیسی جریان می‌یابد، نیرویی به نام نیروی لورنتز^۳ به آن اعمال می‌شود که روی میدان سرعت سیال اثر می‌گذارد. در

۱ Nanofluids

۲ Magnetohydrodynamics (MHD)

۳ Lorentz force

شکل (۱-۱) چگونگی اثر میدان مغناطیسی بر روی سیال مشاهده می‌شود. در این شکل سیال هادی الکتریکی با سرعت w به سمت راست حرکت می‌کند و یک میدان مغناطیسی با شدت B عمود بر جهت حرکت سیال به آن اعمال می‌شود. ذرات باردار که داخل سیال در حرکت اند تحت اثر نیروی لورنتس $F_l = Qw \times B$ قرار گرفته و حرکت می‌کنند، به این ترتیب جریان الکتریکی القا می‌شود $j_i = \sigma w \times B$ جهت نیروی لورنتس متناسب با علامت بار Q طبق قانون دست راست تعیین می‌شود و σ ضریب هدایت الکتریکی سیال است. جدا شدن ذرات مثبت و منفی در کانال موجب ایجاد پتانسیل الکتریکی Φ شده که آن نیز موجب ایجاد یک جریان الکتریکی $j_d = -\sigma \nabla \Phi$ در جهت مخالف j_i می‌شود و برآیند این دو جریان ایجاد شده به صورت $j = \sigma(w \times B - \nabla \Phi)$ است. تقابل بین جریان j و میدان مغناطیسی B موجب ایجاد نیروی مگنتوهیدرودینامیک به صورت $f = j \times B$ می‌شود که بسته به جهت جریان j روی میدان سرعت سیال اثر می‌گذارد [۳].



شکل ۱-۱. چگونگی ایجاد اثر مگنتوهیدرودینامیک.

۲-۱ ساختار پایان نامه حاضر

در این پایان نامه جریان و انتقال حرارت اجباری نانوسیال آب-آلومینا در داخل یک میکروکانال تحت میدان مغناطیسی با استفاده از روش عددی شبکه بولتزن مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا در فصل دوم با مروری بر تحقیقات انجام شده در رابطه با موضوع پایان نامه، مطالعات انجام شده توسط محققان طی سال‌های گذشته به صورت مختصر بررسی شده و سپس در انتهای این فصل اهداف و نوآوری‌های تحقیق حاضر بیان می‌شود. در فصل سوم ضمن معرفی دیدگاه‌های مختلف برای بررسی رفتار سیالات، روش شبکه بولتزن معرفی شده و اصول این روش، معادلات و چگونگی اعمال شرایط مرزی و همچنین نقاط ضعف و قدرت این روش عددی در مقایسه با سایر روش‌های عددی معمول مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل چهارم به مدل‌سازی عددی مسئله حاضر پرداخته می‌شود. در این فصل ابتدا فیزیک مسئله و شرایط حاکم بر آن عنوان می‌شود، سپس معادلات حاکم بیان شده و چگونگی استفاده از روش عددی شبکه بولتزن و اعمال شرایط مرزی آن برای به دست آوردن میدان سرعت و دمای سیال در مسئله حاضر شرح داده می‌شود. در انتهای این فصل استقلال نتایج حل عددی از شبکه محاسباتی مورد