

دانشگاه کاشان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

عنوان:

مطالعه عددی اثر اعمال یک میدان مغناطیسی ثابت بر
جابجائی ترکیبی نانو سیال در یک میکرو کانال سه بعدی

استاد راهنما:

دکتر قنبرعلی شیخزاده

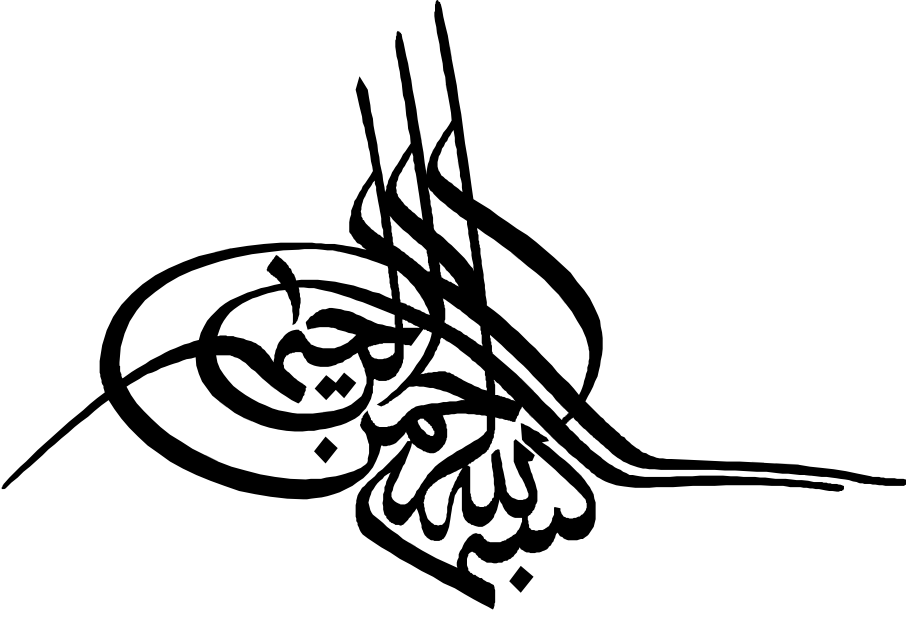
استاد مشاور:

دکتر حسین خراسانی زاده

توسط:

معصومه ابراهیم قمی

بهمن ماه ۱۳۹۰



تقدیم به

دعاهای خیر پدرم

مهربانی و فداکاری مادرم

و همراهی همسرم

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 **حسین خراسانی‌زاده** به‌عنوان مشاور که با راهنمایی خود مرا مورد لطف قرار داده‌اند کمال تشکر را دارم.

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

همچنین از آقای دکتر **محمود نیکوفرد** به‌عنوان ناظر که در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند تشکر می‌نمایم.

چکیده

در این تحقیق به مطالعه عددی میدان جریان و انتقال حرارت نانوسیال در یک میکروکانال سه بعدی با در نظر گرفتن انتقال حرارت هدایتی در دیواره جامد آن، تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا نحوه مدلسازی خواص فیزیکی نانوسیال مرور شده و سپس با در نظر گرفتن مدل تک فاز، معادلات و شرایط مرزی حاکم بر جریان نانوسیال و انتقال حرارت در هندسه مورد نظر تعیین شده اند. در ادامه با توجه به هندسه حل و شرایط مرزی، برنامه کامپیوتری موجود توسعه داده شده است. در این برنامه، روش حجم محدود برای شبکه غیریکنواخت و الگوریتم سیمپلر برای پیوند میدانهای سرعت و فشار به کار رفته است. به منظور تأیید اعتبار برنامه کامپیوتری، نتایج حاصل از بررسی حاضر با نتایج مطالعات عددی قبلی منتشر شده در شرایط مشابه مقایسه شده اند و از صحت عملکرد برنامه کامپیوتری اطمینان حاصل شده است. با توجه به شرایط مسئله مورد نظر، نتایج حاصل از شبیه سازی عددی میدان جریان و انتقال حرارت نانوسیال در شرایط مختلف با تغییر نسبت ابعاد سطح مقطع میکروکانال، اعداد رینولدز و هارتمن و زاویه میدان مغناطیسی بررسی شده اند. با تحلیل نتایج حاصل از شبیه سازی عددی مشخص شد که با افزایش اعداد رینولدز و هارتمن، کاهش نسبت ابعاد میکروکانال و زاویه اعمال میدان مغناطیسی، مقدار مقاومت حرارتی در ورود و خروج میکروکانال کاهش می یابد و در نتیجه میزان انتقال حرارت افزایش می یابد. همچنین مشاهده شد که با توجه به کوچک بودن طول مشخصه در میکروکانال ها می توان از اثر انتقال حرارت جابجایی طبیعی در مقایسه با انتقال حرارت اجباری صرف نظر نمود.

کلمات کلیدی: میکرو کانال سه بعدی، جابجایی ترکیبی، نانوسیال، میدان مغناطیسی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱ مقدمه.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ مروری بر کارهای گذشته.....	۳
۳-۱ هدف و موضوع تحقیق.....	۸
۴-۱ روش انجام تحقیق.....	۱۰
فصل ۲ نانوسیال و خواص آن.....	۱۲
۱-۲ مقدمه.....	۱۳
۲-۲ تاریخچه‌ای از نانوسیال.....	۱۳
۱-۲-۲ مزیت نانوسیالات نسبت به سایر سیالات.....	۱۴
۲-۲-۲ تهیه نانوسیالات.....	۱۵
۳-۲-۲ کاربردهای نانوسیالات.....	۱۶
۴-۲-۲ تفاوت نانوسیالات با سوسپانسیونهای ماکرو.....	۱۷
۳-۲ مدلسازی خواص فیزیکی نانوسیال.....	۱۷
۱-۳-۲ هدایت حرارتی.....	۱۷
۱-۱-۳-۲ مدل‌های ماکرو.....	۱۸
۲-۱-۳-۲ مکانیزم‌های بالقوه‌ی افزایش ضریب هدایت حرارتی در نانوسیالات.....	۱۹
۲-۳-۲ لزجت.....	۲۱
۳-۳-۲ چگالی.....	۲۲
۴-۳-۲ گرمای ویژه.....	۲۲
۴-۲ روابط مربوط به خواص نانوسیال در مطالعه حاضر.....	۲۳

فصل ۳ معادلات حاکم و شرایط مرزی	۲۵
۱-۳ مقدمه	۲۶
۲-۳ تفاوت میکروکانال با کانال	۲۶
۱-۲-۳ عدد نادسن	۲۷
۳-۳ معادلات مربوط به هیدرودینامیک مغناطیسی	۲۹
۴-۳ معادلات حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت	۳۲
۵-۳ بی‌بعد سازی معادلات حاکم و شرایط مرزی	۳۴
۶-۳ نحوه محاسبه ضریب انتقال حرارت، مقاومت حرارتی و تنش برشی بر روی دیواره‌ها	۳۶
فصل ۴ محاسبات عددی	۳۹
۱-۴ مقدمه	۴۰
۲-۴ شکل کلی معادلات دیفرانسیل	۴۰
۳-۴ معادلات انفصال	۴۱
۴-۴ بدست آوردن معادلات انفصال	۴۲
۱-۴-۴ شکل تفاضل محدود معادله کلی	۴۳
۲-۴-۴ معادله انفصال حاصل از طرح پیوندی	۴۴
۳-۴-۴ حل معادله انفصال	۴۵
۵-۴ حل معادلات حاکم بر جریان	۴۶
۱-۵-۴ شبکه جابه‌جا شده	۴۷
۲-۵-۴ الگوریتم سیمپلر	۵۲
۳-۵-۴ نحوه قرارگیری نقاط در شبکه و اعمال شرایط مرزی	۵۳
۱-۳-۵-۴ شرایط مرزی معادله u	۵۳
۲-۳-۵-۴ شرایط مرزی معادله v	۵۳
۳-۳-۵-۴ شرایط مرزی معادله w	۵۴

۵۴	..... ۴-۳-۵-۴ شرایط مرزی معادله T
۵۴	..... ۴-۶ برنامه کامپیوتری
۵۷	..... فصل ۵ بررسی نتایج
۵۸	..... ۱-۵ مقدمه
۵۸	..... ۲-۵ انتخاب شبکه مناسب
۶۰	..... ۳-۵ بررسی صحت عملکرد برنامه کامپیوتری
۶۱	..... ۱-۳-۵ مدلسازی جابجایی آزاد هوا درون محفظه سه بعدی
	..... ۲-۳-۵ مدلسازی جابجایی اجباری نانوسیال درون میکروکانال تحت میدان مغناطیسی
۶۳	..... ثابت
۶۵	..... ۳-۳-۵ تعیین میزان حرارت ورودی و خروجی ودبی از میکروکانال
۶۶	..... ۴-۵ بررسی نتایج
۶۷	..... ۱-۴-۵ جابجایی آزاد نانوسیال درون میکروکانال
۶۷	..... ۲-۴-۵ تأثیر نسبت ابعاد سطح مقطع میکروکانال بر انتقال حرارت و میدان جریان
	..... ۳-۴-۵ تأثیر افزایش عدد رینولدز بر میدان جریان و انتقال حرارت برای حالت بهینه
۷۲	..... نسبت ابعاد سطح مقطع میکروکانال
	..... ۴-۴-۵ تأثیر افزایش عدد هارتمن بر میدان جریان و انتقال حرارت برای حالت بهینه
۷۳	..... نسبت ابعاد سطح مقطع میکروکانال
	..... ۵-۴-۵ تأثیر زاویه میدان مغناطیسی بر انتقال حرارت برای حالت بهینه نسبت ابعاد سطح
۷۷	..... مقطع میکروکانال
۷۹	..... فصل ۶ جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات
۸۰	..... ۱-۶ مقدمه
۸۰	..... ۲-۶ خلاصه نتایج
۸۱	..... ۳-۶ پیشنهادات

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱. ابعاد هندسه مورد نظر بر حسب میکرومتر	۱۰
جدول ۲-۱. ابعاد سطح مقطع میکروکانال بر حسب میکرومتر در نسبت ابعاد مختلف	۱۰
جدول ۱-۳. دسته بندی کانالها توسط مهندال و همکاران [۳۴]	۲۶
جدول ۱-۴. مقادیر ϕ و Γ برای معادله دیفرانسیلی کلی حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت	۴۱
جدول ۱-۵. شرایط مسئله برای انتخاب شبکه مناسب	۵۹
جدول ۲-۵. تعداد نقاط در نظر گرفته شده برای یافتن شبکه مناسب	۵۹
جدول ۳-۵. مقادیر مقاومت حرارتی در ورود و خروج میکروکانال با شبکه های مختلف	۶۰
جدول ۴-۵. مقادیر عدد ناسلت متوسط برای اعداد رایلی مختلف، مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج [۳۷]	۶۲
جدول ۵-۵. مقادیر عدد ناسلت متوسط و ماکزیمم سرعت دیواره میکروکانال برای اعداد رینولدز مختلف و $Ha=20$ مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج [۱۹]	۶۵
جدول ۶-۵. مقادیر حرارت محاسبه شده در اعداد رینولدز مختلف برای $Ar=0/1$ ، $Ha=0$ و $\Psi=0$	۶۵
Ψ مقایسه بین حرارت ورودی و خروجی از میکروکانال	۶۵
جدول ۷-۵. مقادیر دبی محاسبه شده برای $Ar=0/1$ ، $Ha=0$ و $\Psi=0$ مقایسه بین مقدار دبی در مقاطع مختلف	۶۶
جدول ۸-۵. خواص ترموفیزیکی آب، نانوذرات [۱۹] و ماده جامد (سیلیکونی) [۱۵] در دمای K	۳۰۰
جدول ۹-۵. مقادیر مقاومت حرارتی: مقایسه انتقال حرارت ترکیبی و اجباری در میکروکانال	۶۷
جدول ۱۰-۵. مقادیر عدد ناسلت متوسط و مقاومت حرارتی در نسبت ابعاد مختلف برای $Ha=0$	۷۲
$\phi=0/0.2$ ، $\Psi=0$ ، $Re=200$	

- جدول ۵-۱۱. مقادیر مقاومت حرارتی در اعداد رینولدز مختلف برای $Ar=0/1$ ، $Ha=0$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0/02$ ۷۳
- جدول ۵-۱۲. مقادیر مقاومت حرارتی در اعداد هارتمن متفاوت برای $Ar=0/1$ ، $Re=200$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0/02$ تحت میدان مغناطیسی به طول $l2$ ۷۷
- جدول ۵-۱۳. مقادیر مقاومت حرارتی در زوایای مختلف برای $Ar=0/1$ ، $Ha=20$ ، $Re=200$ تحت میدان مغناطیسی به طول $l2$ ۷۸

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱. هندسه مسئله مورد نظر	۹
شکل ۱-۳. نمایش قانون اهم برای (الف) رسانای ساکن (ب) رسانای متحرک	۳۰
شکل ۲-۳. نمایش قانون فارادی (الف) تولید نیروی محرکه الکتریکی بواسطه حرکت رسانا (ب) تولید نیروی محرکه الکتریکی بواسطه میدان مغناطیسی وابسته به زمان	۳۱
شکل ۳-۳. نمایش قانون آمپر بر روی یک سیم حامل جریان الکتریکی	۳۱
شکل ۱-۴. حجم کنترل اصلی برای بدست آوردن معادله انفصال کلی	۴۳
شکل ۲-۴. مکانهای جایه‌جا شده برای u و v	۴۸
شکل ۳-۴. حجم کنترل u و v	۴۹
شکل ۱-۵. تغییرات دمای متوسط دیوار همیگروکانال با شبکه‌های مختلف	۵۹
شکل ۲-۵. تغییرات سرعت ماکزیمم در راستای میکروکانال با شبکه‌های مختلف	۶۰
شکل ۳-۵. هندسه حل [۳۷]	۶۱
شکل ۴-۵. تغییرات دما در $Z = 0/5$ مقایسه بین نتایج حاضر (خطوط قرمز) و نتایج [۳۷] (خطوط سیاه)	۶۲
شکل ۵-۵. هندسه حل [۱۹]	۶۳

شکل ۵-۶. عدد ناسلت موضعی در امتداد میکروکانال: مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج [۱۹] ۶۴

شکل ۵-۷. تغییرات سرعت ماکزیمم در امتداد میکروکانال: مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج [۱۹] ۶۴.....

شکل ۵-۸. میدان دما در مکان‌های متفاوت از میکروکانال در نسبت ابعادی مختلف برای $Re=200$ ، $Ha=0$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0.02$ ۶۹.....

شکل ۵-۹. میدان دما در $Z=0.5$ در نسبت ابعادی مختلف برای $Re=200$ ، $Ha=0$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0.02$ ۷۰.....

شکل ۵-۱۰. میدان دما در $Y=0.5$ در نسبت ابعادی مختلف برای $Re=200$ ، $Ha=0$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0.02$ ۷۰.....

شکل ۵-۱۱. تاثیر تغییر نسبت ابعاد سطح مقطع میکروکانال بر سرعت ماکزیمم در طول میکروکانال برای $Re=200$ ، $Ha=0$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0.02$ ۷۱.....

شکل ۵-۱۲. تغییرات دمای بالک سیال در اعداد رینولدز مختلف برای $Ar=0.1$ ، $Ha=0$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0.02$ ۷۲.....

شکل ۵-۱۳. تغییرات سرعت ماکزیمم در راستای طول میکروکانال در اعداد رینولدز متفاوت برای $Ar=0.1$ ، $Ha=0$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0.02$ ۷۳.....

شکل ۵-۱۴. میدان دما در مکانهای متفاوت در اعداد هارتمن مختلف برای $Re=200$ ، $Ar=0.1$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0.02$ تحت میدان مغناطیسی به طول $l2$ ۷۵.....

شکل ۵-۱۵. میدان دما در $Z=0.5$ در اعداد هارتمن مختلف برای $Re=200$ ، $Ar=0.1$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0.02$ تحت میدان مغناطیسی به طول $l2$ ۷۶.....

شکل ۵-۱۶. میدان دما در $Y=0.5$ در اعداد هارتمن مختلف برای $Re=200$ ، $Ar=0.1$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0.02$ تحت میدان مغناطیسی به طول $l2$ ۷۶.....

شکل ۵-۱۷. تغییرات سرعت ماکزیمم در راستای میکروکانال در اعداد هارتمن متفاوت برای $Re=200$ ، $Ar=0.1$ ، $\Psi=0$ ، $\phi=0.02$ تحت میدان مغناطیسی به طول $l2$ ۷۷.....

شکل ۵-۱۸. تغییرات دمای بالک نانوسیال در زوایای مختلف برای $Re=200$ ، $Ha=20$ ۷۸.....

۷۸ l_2 تحت میدان مغناطیسی به طول $\Phi=0/02$ ، $A_1=0/1$

فهرست علائم و اختصارات (Abbreviations)

نسبت ابعاد	Ar
شدت میدان مغناطیسی (T)	B
گرمای ویژه ($J kg^{-1} K^{-1}$)	c_p
کنداکنانس پخش	D
قطر هیدرولیکی (m)	d_h
شدت میدان الکتریکی (Vm^{-1})	E
قدرت جابجایی ($kgm^{-2}s^{-1}$)	F
نیرو (N)	F
شتاب جاذبه ($m s^{-2}$)	g
ارتفاع میکروکانال (m)	h_c
ارتفاع دیواره جامد (m)	h
ضریب انتقال حرارت ($w m^{-2} k^{-1}$)	h
عدد هارتمن	Ha
مقدار جریان الکتریکی (A)	I
چگالی جریان الکتریکی (Am^{-2})	J
ضریب هدایت حرارتی ($W m^{-1} K^{-1}$)	k
عدد نادسن	Kn
طول مشخصه (m)	L
طول میکروکانال (m)	l
عدد ناسلت متوسط	Nu_{avg}
عدد ناسلت موضعی	Nu_s
فشار (Nm^{-2})	p

فشار بدون بعد	P
عدد پراتل	Pr
شار حرارتی ($W m^{-2}$)	q''
بار الکتریکی آزاد (c)	q
عدد رینولدز	Re
عدد ریچاردسون	Ri
مقاومت حرارتی ($w^{-1} K m^2$)	R_{th}
جمله چشمه	S
دما (K)	T
دمای بالک سیال (K)	T_b
دمای متوسط دیواره میکروکانال (K)	$T_{w,m}$
سرعت در سه جهت (ms^{-1})	u, v, w
سرعت بدون بعد در سه جهت	U, V, W
پهنای میکروکانال (m)	w_c
پهنای دیواره جامد (m)	w

حروف یونانی

ضریب زیر تخفیف / پخش حرارتی ($m^2 s^{-1}$)	α
ضریب انبساط حرارتی (K^{-1})	β
فاصله	δ
دمای بدون بعد	θ
ویسکوزیته سینماتیکی ($m^2 s^{-1}$)	ϑ
گام آزاد متوسط مولکولی (m)	λ
ویسکوزیته دینامیکی ($N s m^{-2}$)	μ

جرم مخصوص (kg m^{-3})	ρ
ضریب هدایت الکتریکی ($\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$)	σ
تنش برشی (Nm^{-2})	τ
کسر حجمی نانوذرات و کمیت وابسته	ϕ
ضریب پخش	Γ
فاصله	Δ
زاویه اعمال میدان مغناطیسی (deg)	Ψ

زیر نویس

وجه پشتی حجم کنترل	b
گره پشتی	B
وجه شرقی حجم کنترل	e
گره شرقی	E
مقادیر معادل	eff
سیال پایه	f
ورودی	inlet
عنصر جمع بندی در شکل تانسوری معادلات	i, j, k
وجه شمالی حجم کنترل	n
گره شمالی	N
همسایه	nb
نانوسیال	nf
خروجی	outlet
نانوذره	p
گره وسطی	P

وجه جنوبی حجم کنترل، جامد و موضعی s

گره جنوبی S

وجه جلویی حجم کنترل t

گره جلویی T

وجه غربی حجم کنترل w

گره غربی W

بالا نویس

مقدار با بعد *

فصل اول

مقدمه

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

با توجه به روند رو به رشد علوم و فناوری در زمینه‌های مختلف و گسترش سیستم‌های مصرف‌کننده‌ی انرژی، افزایش کارایی و بهینه‌سازی این سیستم‌ها جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. در این راستا مطالعه و تحقیق در زمینه علوم مربوط به انتقال حرارت مورد توجه محققان قرار گرفته است. از آن جا که انتقال حرارت توسط سیالات در کاربردهای مهندسی اهمیت فراوانی دارد، روش‌های افزایش انتقال حرارت و عوامل موثر بر آن از قبیل خواص سیال و شرایط مرزی هندسه مورد مطالعه، موضوعات مهمی می‌باشند که باید مورد بررسی قرار گیرند. سیالاتی که بطور مرسوم برای انتقال حرارت بکار می‌روند از قبیل آب، اتیلن گلیکول، پرپیلن گلیکول و روغن‌های معدنی ضریب هدایت حرارتی نسبتاً کمی دارند و تقاضای روزافزون در زمینه بکارگیری سیالات بعنوان عامل مناسب برای انتقال حرارت را برآورده نمی‌کنند. با در نظر گرفتن این تقاضا در تکنولوژی‌های مدرن از قبیل صنایع شیمیایی، ایستگاه‌های تولید برق و میکروالکترونیک‌ها توسعه انواع جدیدی از سیالات نیاز است که عملکرد حرارتی آن‌ها موثرتر باشد. نانوسیالات، نوع جدیدی از سیالات عامل انتقال حرارت شامل مقدار کمی از ذرات در مقیاس نانو (معمولاً کمتر از ۱۰۰ nm) می‌باشند که بصورت یکنواخت و پایدار در یک سیال معلق شده‌اند. این نوع نانوسیالات ضریب هدایت حرارتی بسیار بالایی دارند و پیش‌بینی می‌شود تقاضای فزاینده برای انتقال حرارت مناسب را تامین کنند. در این راستا مهندسیین و متخصصین علوم مختلف تمایل خود را برای مطالعه خواص حرارتی نانوسیالات نشان داده‌اند.

مطالعات بسیاری به منظور بررسی خواص نانوسیالات در اشکال هندسی مختلف از جمله کانال و میکروکانال در سال‌های اخیر صورت پذیرفته است. جریان سیال در داخل کانال‌ها در بسیاری از سیستم‌های طبیعی و یا ساخته‌های انسانی اتفاق می‌افتد. انتقال جرم و حرارت در جداره‌های سیستم‌های زیستی همانند مغز، شش‌ها، کلیه‌ها، روده‌ها و رگ‌ها و همچنین سازه‌هایی همانند مبدل‌های حرارتی، راکتورهای هسته‌ای و واحدهای تقطیر انجام می‌گیرد. همچنین جریان سیال برای خنک‌سازی بسیاری از سیستم‌های الکترونیکی و کامپیوتری استفاده می‌شود. افزایش توانایی‌ها و قابلیت‌های سیستم‌های کامپیوتری همانند میکرو تراشه‌ها و تمایل برای مینیاتوری کردن مدارهای مجتمع باعث افزایش تولید حرارت می‌شود که نیاز به افزایش انتقال حرارت از آنها را موجب می‌شود. میکروکانال‌هایی با ابعاد $100\mu\text{m}$ تا کسری از $1\mu\text{m}$ برای خنک‌سازی مدارهای مجتمع، طرح‌های بیوشیمیایی و سیستم‌های میکروالکترومکانیکی استفاده می‌شوند. به طور خلاصه می‌توان گفت که در کلیه فعالیت‌های ذکر شده ابعاد بسیار کوچک مقیاس میکرو و نانو سبب شده است تا تلاش‌های زیادی در زمینه مدلسازی عددی جریان و انتقال حرارت در آنها صورت گیرد. اما عدم دسترسی به امکانات آزمایشگاهی مطلوب و هزینه‌ساخت بالا سبب شده است حل‌های عددی برای مدلسازی آنها رونق یابد.

۱-۲ مروری بر کارهای گذشته

در این بخش به بررسی مطالعات انجام شده در زمینه شبیه‌سازی جریان و انتقال حرارت نانوسیال به صورت جابجایی اجباری و جابجایی ترکیبی در میکرو کانال‌ها پرداخته می‌شود. در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری در زمینه افزایش انتقال حرارت جابجایی طبیعی با استفاده از نانوسیال انجام شده است. بیشتر نتایج ارائه شده حاکی از افزایش انتقال حرارت با افزودن نانوذرات به سیال پایه می‌باشد. از آن جمله نتایج گزارش شده توسط خانافر و همکاران [۱] برای جابجایی آزاد نانوسیال آب-مس در یک محفظه دوبعدی می‌باشد. آنها افزایش در انتقال حرارت را با افزودن نانوذرات به سیال برای هر عدد گراشفی گزارش کرده‌اند.

ازتپ و ابونادا^[۲] نیز نتایج مشابهی را ارائه کرده‌اند، که افزایش در انتقال حرارت از طریق افزودن نانوذرات را نشان داده است. نتایج آزمایشگاهی متناقضی با استفاده از نانوسیالات آب-اکسید مس و آب-اکسید آلومینیوم توسط پوترا و همکاران^[۳] گزارش شده است. پوترا و همکاران دریافتند که ضریب انتقال حرارت جابجایی طبیعی برای نانوسیال کمتر از مقدار آن برای سیال خالص می‌باشد. کارهای تجربی دیگر توسط ون و دینگ^[۴] انجام شده است که نشانگر کاهش محسوسی در انتقال حرارت از طریق افزودن نانوسیال می‌باشند. ابونادا و همکاران^[۵] نشان داده‌اند که افزایش انتقال حرارت در جابجایی طبیعی عمدتاً به مقدار بزرگی عدد رایلی بستگی دارد. در حقیقت افزایش انتقال حرارت در یک عدد رایلی پایین به مقدار نانوذرات حساس نمی‌باشد و افزایش انتقال حرارت با در نظر گرفتن عدد رایلی بالا مشاهده می‌شود. بنابراین این گونه استنتاج می‌شود که مقدار تخمینی برای افزایش انتقال حرارت جابجایی طبیعی از طریق شبیه‌سازی عددی بیش از میزان افزایش واقعی است.

بطور کلی انتقال حرارت جابجایی طبیعی از خواص نانوسیال از قبیل لزجت و ضریب هدایت حرارتی تاثیر می‌پذیرد. در تمام کارهای عددی که قبلاً اشاره شد برای لزجت از مدل برینکمن^۱ استفاده شده است. این مدل برای لزجت حداقل مقدار را تخمین می‌زند چنانچه این موضوع توسط پاک و چو^[۶] و نگوین و همکاران^[۷] بیان شده است. مدل برینکمن تاثیر دمای نانوسیال یا اندازه‌ی نانوذرات را در نظر نمی‌گیرد و این مدل برای ذراتی با اندازه‌ی بزرگتر از مقیاس نانو استنتاج شده است. در این زمینه، پولیدری و همکاران^[۸] نتیجه‌گیری می‌کنند که انتقال حرارت تنها از طریق هدایت حرارتی نانوسیال قابل توصیف نمی‌باشد و لزجت نیز نقش مهمی در انتقال حرارت ایفا می‌کند.

در اغلب شبیه‌سازی‌های عددی برای ضریب هدایت حرارتی مدل ماکسول-گارتنت^۲ به کار رفته است. این مدل پارامترهای موثر بر انتقال حرارت در نانوسیالات را از قبیل حرکت براونی در نظر نمی‌گیرد. به علت این اشکال، شبیه‌سازی عددی نیاز به مدل‌های قویتر و بهتری دارند

^۱ Brinkman

^۲ Maxwell- Garnett[MG]