بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه آزاد اسلامي

واحد تهران مرکزي

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

گرایش: تبدیل انرژی

عنوان :

مطالعه تحلیلی و عددی میدان جریان و انتقال حرارت نقطه سکون نانو سیال برای دو حالت وجود و عدم وجود اثرات حرکت براونی و ترموفورز

استاد راهنما :

دکتر محمد افتخاری یزدی

استاد مشاور :

دکتر حسین ترابیان

پژوهشگر :

عابد مرادی

زمستان ۱۳۹۱

ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Central Tehran Branch

Faculty of Engineering

"M.Sc" Thesis

On Mechanical Engineering

Subject:

Analytical and numerical study about flow and heat transfer of nanofluid stagnation point with regarding/disregarding the effects of brownian motion and thermoforesis

Advisor:

Dr. Mohammad Eftekhari Yazdi

Consulting Advisor:

Dr. Hossein Torabian

By:

Abed Moradi

Winter ۲۰۱۳

تشکر و قدردانی :

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمّد و خاندان پاك او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بردشمنان ایشان تا روز رستاخیز...

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر محمد افتخاری یزدی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را برعهده گرفتند؛ و همچنین از استاد صبور و فرزانه ، جناب آقای دکتر سعید دینارونـد که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم و برای آنها از خداوند متعال آرزوی سلامتی و موفقیت در زندگی را دارم.

همچنین از زحمات استاد عزیز جناب آقای دکتر حسین ترابیان برای مساعدت هایشان با اینجانب نهایت سپاسگزاری را دارم.

در نهایت، از پدر و مادر فداکار و همسر عزیزم که در تمام مراحل زندگی و تحصیل من از هیچ تلاشی دست نکشیدند و همواره یار و یاور من بوده اند سپاسگزاری می نمایم.

تقدیم به :

پدر و مادر عزیز و همسر مهربانم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... و

فهرست جدول‌ها ..... ح

فهرست شکل‌ها ..... ط

فهرست علائم و اختصارات ..... ل

چکیده ۱

فصل اول :مقدمه

۱-۱ مقدمه ۳

فصل دوم :نانوسیال

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ مدل‌های معرف خواص مؤثر نانوسیال ۸

۲-۳ مدل های مورد استفاده ۱۱

۲-۳-۱ بدون در نظرگرفتن اثرات حرکت براونی و ترموفورز ۱۲

۲-۳-۲ با در نظرگرفتن اثرات حرکت براونی و ترموفورز ۱۲

۲-٤ نانوسیال مورد استفاده در این پروژه ۱۳

۲-٥ کاربردهای نانوسیال در فرایند های صنعتی ۱۳

فصل سوم :جریان و انتقال حرارت نقطه سکون

۳-۱ مقدمه ۱٦

۳-۱-۱ جریان سکون دو بعدی..... ۱٦

۳-۱-۲ توزیع دما در نقطه سکون ۱۹

۳-۲ ویژگی های دیگر جریان ۱۹

۳-۲-۱ کشیدگی خطی صفحه ۱۹

۳-۲-۲ محیط متخلخل ۲۰

۳-۲-۳ هیدرو دینامیک مغناطیسی ۲۰

۳-۲-٤ تشعشع حرارتی ۲۱
۳-۳ مطالعات پیشین ۲۱

فصل چهارم :جریان نقطه سکون نانوسیال بر روی صفحه افقی

٤-۱ با فرض عدم وجود اثرات حرکت براونی و ترموفورز ۳۲
٤-۱-۱ بیان مسأله و فرمول بندی ریاضی ۳۲
٤-۱-۲ روش حل ۳٦
٤-۱-۲-۱ روش رانگ کوتا مرتبه چهارم ۳٦
٤-۱-۲-۲ تکنیک شوتینگ ۳٦
٤-۱-۳ نتایج و بحث ۳۷
٤-۲ با فرض وجود اثرات حرکت براونی و ترموفورز ٤٤
٤-۲-۱ بیان مسأله و فرمول بندی ریاضی ٤٤
٤-۲-۲ روش حل ٤۷
٤-۲-۳ نتایج و بحث ٤۷

فصل پنجم :جریان نقطه سکون نانوسیال بر روی صفحه عمودی

٥-۱ با فرض عدم وجود اثرات حرکت براونی و ترموفورز ٥٥
٥-۱-۱ بیان مسأله و فرمول بندی ریاضی ٥٥
٥-۱-۲ روش حل ٥۸
٥-۱-۳ نتایج و بحث ٥۸
٥-۲ با فرض وجود اثرات حرکت براونی و ترموفورز ۷۲
٥-۲-۱ بیان مسأله و فرمول بندی ریاضی ۷۲
٥-۲-۲ روش حل ۷٦
٥-۲-۳ نتایج و بحث ۷٦

فصل ششم :نتیجه گیری

٦-۱ نتیجه گیری ۹۸

منابع و مأخذ ۱۰۰
Abstract ۱۰۳

فهرست جداول **صفحه**

جدول ۲-۱ : خواص ترموفیزیکی نانوذرات و فاز مایع ۱۳

جدول ۳-۱ : خلاصه مطالعات نظري انجام شده در مورد جریان و انتقال حرارت نقطه سکون ۳۰

جدول ٤-۱ : اثر درصد حجمی نانوذرات مختلف بر روی ضریب اصطکاک سطحی و عدد ناسلت محلی برای نانوذرات متفاوت وقتی که $M = 1$ **و** $R_d = 0.5$ ٤۳

جدول ٤-۲ : اثر مقادیر مختلف M **و** R_d **بر روی ضریب اصطکاک سطحی و عدد ناسلت محلی برای نانوسیال مس-آب وقتی که** $\varphi = 0.2$ ٤٤

جدول ٥-۱ : اثر درصد حجمی نانوذرات مختلف بر روی ضریب اصطکاک سطحی برای نانوذرات متفاوت ۷۰

جدول ٥-۲ : اثر درصد حجمی نانوذرات مختلف بر روی عدد ناسلت محلی برای نانوذرات متفاوت ۷۱

جدول ٥-۳ : اثر مقادیر مختلف ε ، Λ ، λ **و** R_d **بر روی ضریب اصطکاک سطحی و عدد ناسلت محلی برای نانوسیال مس-آب وقتی که** $\varphi = 0.2$ ۷۲

جدول ٥-٤ : مقادیر $Re_x^{1/2} C_f$ **برای مقادیر مختلف** ε **و با نادیده گرفتن حرکت براونی و ترموفورز و نیرو های بویانسی** $\lambda\theta$ **و** $\delta\phi$ **و** $\Lambda = 0$ ۷۷

جدول ٥-٤ : تاثیر پارامترهای R_d ، Λ ، δ **و** Pr **بر روی ضریب اصطکاک سطحی، عدد ناسلت محلی و عدد شروود محلی** ۷۸

فهرست شکل ها

صفحه

شکل ۳-۱ جریان نقطه سکون ۱۶

شکل ٤-۱ دستگاه مختصات و مدل فیزیکی مسئله ۳۲

شکل ٤-۲ پروفیل سرعت برای درصد حجمی مختلف نانو ذرات برای نانوسیال مس-آب ۳۸

شکل ٤-۳ پروفیل دما برای درصد حجمی مختلف نانو ذرات برای نانوسیال مس-آب ۳۸

شکل ٤-٤ پروفیل سرعت برای نانو ذرات مختلف و برای $\varphi = 0.2$ ۳۹

شکل ٤-٥ پروفیل دما برای نانو ذرات مختلف و برای $\varphi = 0.2$ ۳۹

شکل ٤-٦ اثر درصد حجمی نانو ذرات بر روی ضریب اصطکاک سطحی و برای نانو ذرات مختلف ٤۰

شکل ٤-۷ اثر درصد حجمی نانو ذرات بر روی عدد ناسلت محلی و برای نانو ذرات مختلف ٤۱

شکل ٤-۸ اثر M **بر روی پروفیل سرعت برای نانوسیال مس-آب و** φ=0.2 ..... ٤۱

شکل ٤-۹ اثر M **بر روی پروفیل دما برای نانوسیال مس-آب و** φ=0.2 ..... ٤۲

شکل ٤-۱۰ اثر R_d **بر روی پروفیل دما برای نانوسیال مس-آب و** φ=0.2 ..... ٤۲

شکل ٤-۱۱ اثر Pr **بر روی پروفیل دما برای نانوسیال مس-آب و** φ=0.2 ..... ٤۳

شکل ٤-۱۲ اثر M **بر روی پروفیل سرعت** ٤۷

شکل ٤-۱۳ اثر M **بر روی پروفیل دما** ٤۸

شکل ٤-۱٤ اثر R_d **بر روی پروفیل دما** ٤۸

شکل ٤-۱٥ اثر Pr **بر روی پروفیل دما** ٤۹

شکل ٤-۱٦ اثر N_t **بر روی پروفیل دما** ٤۹

شکل ٤-۱۷ اثر N_b **بر روی پروفیل دما** ٥۰

شکل ٤-۱۸ اثر M **بر روی پروفیل تراکم نانوذرات** ٥۰

شکل ٤-۱۹ اثر Le **بر روی پروفیل تراکم نانوذرات** ٥۱

شکل ٤-۲۰ اثر N_t **بر روی پروفیل تراکم نانوذرات** ٥۱

شکل ٤-۲۱ اثر N_b **بر روی پروفیل تراکم نانوذرات** ٥۲

شکل ٤-۲۲ اثر N_t **و** N_b **بر روی عدد ناسلت محلی** ٥۲

شکل ٤-٢٣ اثر N_t و N_b بر روی عدد شروود محلی ٥٣
شکل ٥-١ شماتیک جریان نقطه سکون همرفت مختلط الف) جریان همسو، ب) جریان غیرهمسو ٥٦
شکل ٥-٢ پروفیل سرعت برای درصد حجمی مختلف نانو ذرات برای نانوسیال مس-آب ٥٩
شکل ٥-٣ پروفیل دما برای درصد حجمی مختلف نانو ذرات برای نانوسیال مس-آب ٦٠
شکل ٥-٤ پروفیل سرعت برای نانو ذرات مختلف و برای $\varphi = 0.2$ ٦١
شکل ٥-٥ پروفیل دما برای نانو ذرات مختلف و برای $\varphi = 0.2$ ٦١
شکل ٥-٦ اثر درصد حجمی نانو ذرات بر روی ضریب اصطکاک سطحی و برای نانو ذرات مختلف ٦٢
شکل ٥-٧ اثر درصد حجمی نانو ذرات بر روی عدد ناسلت محلی و برای نانو ذرات مختلف ٦٣
شکل ٥-٨ اثر درصد حجمی نانو ذرات بر روی تابع $f''(0)$ ٦٤
شکل ٥-٩ اثر درصد حجمی نانو ذرات بر روی تابع $-\theta'(0)$ ٦٤
شکل ٥-١٠ اثر ε بر روی پروفیل سرعت برای نانوسیال مس-آب و φ=0.2 ..... ٦٥
شکل ٥-١١ اثر λ بر روی پروفیل سرعت برای نانوسیال مس-آب و φ=0.2 ..... ٦٦
شکل ٥-١٢ اثر Pr بر روی پروفیل سرعت برای نانوسیال مس-آب و φ=0.2 ..... ٦٦
شکل ٥-١٣ اثر R_d بر روی پروفیل سرعت برای نانوسیال مس-آب و φ=0.2 ..... ٦٧
شکل ٥-١٤ اثر Λ بر روی پروفیل سرعت برای نانوسیال مس-آب و φ=0.2 ..... ٦٧
شکل ٥-١٥ اثر Λ بر روی پروفیل دما برای نانوسیال مس-آب و φ=0.2 ..... ٦٨
شکل ٥-١٦ اثر Pr بر روی پروفیل دما برای نانوسیال مس-آب و φ=0.2 ..... ٦٩
شکل ٥-١٧ اثر R_d بر روی پروفیل دما برای نانوسیال مس-آب و φ=0.2 ..... ٧٠
شکل ٥-١٨ شماتیک جریان نقطه سکون همرفت مختلط الف) جریان همسو، ب) جریان غیرهمسو ٧٣
شکل ٥-١٩ اثر Λ بر روی پروفیل سرعت ٧٩
شکل ٥-٢٠ اثر λ بر روی پروفیل سرعت ٧٩
شکل ٥-٢١ اثر δ بر روی پروفیل سرعت ٨٠
شکل ٥-٢٢ اثر ε بر روی پروفیل سرعت ٨٠
شکل ٥-٢٣ اثر N_t بر روی پروفیل سرعت ٨١

شکل ۵-۲۴ اثر N_b بر روی پروفیل سرعت ۸۲
شکل ۵-۲۵ اثر R_d بر روی پروفیل سرعت ۸۲
شکل ۵-۲۶ اثر Pr بر روی پروفیل سرعت ۸۳
شکل ۵-۲۷ اثر Le بر روی پروفیل سرعت ۸۳
شکل ۵-۲۸ اثر Λ بر روی پروفیل دما ۸۴
شکل ۵-۲۹ اثر λ بر روی پروفیل دما ۸۵
شکل ۵-۳۰ اثر δ بر روی پروفیل دما ۸۶
شکل ۵-۳۱ اثر ε بر روی پروفیل دما ۸۶
شکل ۵-۳۲ اثر N_t بر روی پروفیل دما ۸۷
شکل ۵-۳۳ اثر N_b بر روی پروفیل دما ۸۷
شکل ۵-۳۴ اثر R_d بر روی پروفیل دما ۸۸
شکل ۵-۳۵ اثر Pr بر روی پروفیل دما ۸۹
شکل ۵-۳۶ اثر Le بر روی پروفیل دما ۸۹
شکل ۵-۳۷ اثر Λ بر روی پروفیل تمرکز نانوذرات ۹۰
شکل ۵-۳۸ اثر λ بر روی پروفیل تمرکز نانوذرات ۹۱
شکل ۵-۳۹ اثر δ بر روی پروفیل تمرکز نانوذرات ۹۱
شکل ۵-۴۰ اثر ε بر روی پروفیل تمرکز نانوذرات ۹۲
شکل ۵-۴۱ اثر N_t بر روی پروفیل تمرکز نانوذرات ۹۳
شکل ۵-۴۲ اثر N_b بر روی پروفیل تمرکز نانوذرات ۹۳
شکل ۵-۴۳ اثر Le بر روی پروفیل تمرکز نانوذرات ۹۴
شکل ۵-۴۴ اثر N_t و N_b بر روی ضریب اصطکاک سطحی ۹۵
شکل ۵-۴۵ اثر N_t و N_b بر روی عدد ناسلت محلی ۹۵
شکل ۵-۴۶ اثر N_t و N_b بر روی عدد شروود محلی ۹۶

فهرست علایم و اختصارات

میدان مغناطیسی $[\frac{kg}{s^2A}]$	B_0
تمرکز سیال	C_∞
تمرکز روی صفحه	C_w
ضریب اصطکاک سطحی	c_f
ضریب پخش حرکت براونی	D_B
ضریب پخش ترموفورز	D_T
عدد گراشف محلی	Gr
عدد گراشف محلول محلی	Gc
شار جرم سطح	j_w
ضریب هدایت حرارتی نانوسیال $[W/m.K]$	k_{nf}
ضریب هدایت حرارتی مایع $[W/m.K]$	k_f
ضریب نفوذپذیری محیط متخلخل	K
ضریب جذب متوسط	k^*
عدد لویس	Le
عدد هارتمن	M
پارامتر حرکت براونی	N_b
پارامتر ترموفورز	N_t
عدد ناسلت محلی	Nu_x
فشار $[Pa]$	p
عدد پرانتل	Pr
شار گرمای تشعشعی	q_r
شار گرمای سطح	q_w
پارامتر تشعشع حرارتی	R_d

عدد رینولدز	Re_x
عدد شروود محلی	Sh
دمای سطح جسم [K]	T_w
دمای سیال پیرامون [K]	T_∞
سرعت سیال [m/s]	U
سرعت لغزشي در ديوار [m/s]	u_w
سرعت در جهت x [m/s]	u
سرعت در جهت y [m/s]	v
پارامتر مغناطیسی / محیط متخلخل	Λ
ضریب پخش گرمایی [m^2/s]	α
ضریب انبساط گرمایی	β_T
ضریب انبساط تمرکز نانوذرات	β_c
پارامتر بویانسی محلول	δ
نسبت سرعت سیال به سرعت صفحه	ε
درصد حجمی نانوذرات	φ
پارامتر بویانسی (جابجایی مختلط)	λ
پارامتر تخلخل	λ_1
تابع جریان	ψ
رسانایی الکتریکی سیال [$\frac{A^2 s^3}{kg\, m^2}$]	σ
ثابت استفان - بولتزمن	σ^*
نسبت ظرفیت گرمایی نانوذرات به ظرفیت گرمایی سیال پایه	τ
تنش برشی سطح	τ_w
ویسکوزیته نانوسیال [$Pa.s$]	μ_{nf}
ویسکوزیته سیال پایه [$Pa.s$]	μ_f

چکیده:

در این رساله، به مطالعه تحلیلی و عددی میدان جریان و انتقال حرارت نقطه سکون نانو سیال برای دو حالت وجود و عدم وجود اثرات حرکت براونی و ترموفورز پرداخته می‌شود که در این راستا حالات مختلفی از نقطه سکون نظیر نقطه سکون روی صفحه افقی ثابت و یا نقطه سکون روی صفحه عمودی کششی و ... بررسی خواهد شد. معادلات حاکم بر یک سیال عادی در نقطه سکون، با بکارگیری مدلی مناسب برای خواص نانوسیال، به معادلاتی برای یک نانو سیال در جریان مذکور تبدیل شده و در ادامه به دنبال حل عددی و در بعضی مواقع حل تحلیلی معادلات حاکم خواهیم بود. از اهداف دیگر این مطالعه، ارائه تحلیلی مناسب در خصوص تغییرات سرعت، دما، عدد نوسلت و ضریب اصطکاک سطحی برای نانو ذرات مختلف و یا برای درصد حجمی مختلف نانوذرات می باشد. در بخش دیگری از این پژوهش،اثرات حرکت براونی و ترموفورز بر کمیتهایی نظیر عدد نوسلت و ضریب اصطکاک سطحی و همچنین تاثیر پارامترهایی نظیر میدان مغناطیسی، تشعشع حرارتی، محیط متخلخل و ... روی نانو سیالات بررسی و مطالعه می‌شود.

فصل اول

مقدمه

۱-۱) مقدمه

فناوري نانو واژه‌اي است كلي كه به تمام فناوري‌هاي پيشرفته در عرصه كار بامقياس نانو اطلاق مي‌شود. معمولاً منظور ازمقياس نانو ابعادي در حدود ۱nm تا ۱۰۰nm مي‌باشد. (۱ نانومتر يک ميلياردیم متر است.)

تفاوت اصلي فناوري نانو با فناوري‌هاي ديگر در مقياس مواد و ساختارهايي است كه در اين فناوري مورد استفاده قرار مي‌گيرند. البته تنها كوچك بودن اندازه مد نظر نيست؛ بلكه زماني كه اندازه مواد دراين مقياس قرار مي‌گيرد، خصوصيات ذاتي آنها از جمله رنگ، استحكام، مقاومت خوردگي و ... تغيير مي‌يابد. در حقيقت اگر بخواهيم تفاوت اين فناوري را با فناوري‌هاي ديگر به صورت قابل ارزيابي بيان نماييم، مي‌توانيم وجود "عناصر پايه" را به عنوان يك معيار ذكر كنيم. عناصر پايه در حقيقت همان عناصر نانومقياسي هستند كه خواص آنها در حالت نانومقياس با خواص‌شان در مقياس بزرگتر فرق مي‌كند.

مهمترين عنصر پايه، نانوذره است. منظور از نانوذره ، همانگونه كه از نام آن مشخص است، ذراتي با ابعاد نانومتري در هر سه بعد مي‌باشد. نانوذرات مي‌توانند از مواد مختلفي تشكيل شوند، مانند نانوذرات فلزي، سراميكي، ... .

از جمله کاربرد های نانوذرات می توان به سیستم های بیولوژیکی، پزشکی، توزیع دارو در بدن، سرامیک، الکترونیک و مغناطیس، محیط زیست، انرژی و نانوسیالات که از مخلوط کردن نانوذرات در یک سیال پایه حاصل می شود، اشاره کرد.

اغلب سیالات معمول در سیستم های گرمایش و سرمایشی همانند آب، اتیلن گلیکول، پروپین گلیکول، روغن موتور، روغن های معدنی و ... در ظرفیت و ویژگیهای حرارتی دارای محدودیت های ذاتی هستند که موانع متعددی را به منظور کاربرد آنها در انتقال حرارت ایجاد می کنند. علی رغم تحقیقات و تلاش های به عمل آمده در بهبود این سیستم ها نیاز ضروری و آشکار برای توسعه یک راهکار

جدید به منظور اصلاح رفتار حرارتی این سیالات احساس می شود. با توجه به این که جامدات فلزی و اکسید های آنها رسانش بالاتری نسبت به سیالات دارند، بنابراین می توان انتظار داشت که سیالات حاوی ذرات جامد دارای هدایت گرمایی بالاتری باشند. اما مشکلات ناشی از اضافه کردن ذرات میلی و میکرو متری به سیالات از قبیل عدم پایداری، ته نشینی، ساییدگی و فرسایش مجاری، کلوخه شدن و انسداد لوله ها، افت فشار و کاهش عمر قطعاتی مانند پمپ ها و یاتاقان ها و ... مانع از دستیابی به یک محصول تجاری می شد. پیشرفت های اخیر در دانش نانوتکنولوژی از یک دهه قبل امکان ایجاد نوع بسیار جدیدی از سیالات به نام نانوسیالات[1] را فراهم کرده است. نانوسیال به عنوان یک کلوئید مهندسی ترکیبی دو فازی است که از افزودن مقدار بسیار کمی در حد چند درصد حجمی (کمتر از ٥ درصد حجمی) انواع مختلفی از نانوذرات فلزی، اکسید فلزات، کاربید شبه فلزات و غیر فلز ها با اندازه کمتر از ١٠٠ نانومتر به سیالات معمولی بدست می آید که دارای ضریب هدایت حرارتی بسیار بالایی (عموما افزایش ١٥ تا ٤٠ درصدی و بیش از آن در موارد خاص) هستند.

از آنجا که ذرات جامد معلق شده در سیال پایه از ضریب هدایت گرمایی بالاتری نسبت به سیال پایه برخوردارند، انتظار می رود که با افزودن آنها به سیال پایه امکان بهبود بازدهی فرایند انتقال حرارت فراهم گردد. حسن این نانو ذرات آن است که مشکل ذرات بزرگتر را نداشته و یا آن را تا حد قابل توجهی کاهش می دهند. اندازه فوق العاده کوچک این ذرات موجب می شود تا به راحتی و بدون کلوخه شدن و یا ساییدن پمپ، جریان پیدا کنند. به علاوه احتمال رسوب آنها نیز کمتر است و به راحتی و با روش های مناسب می توان مقدار آنها را کاهش داد و یا از مایع خارج نمود.

از عمده ترین تأثیرات این مواد می توان به بهبود عملکرد انتقال حرارت، کوچکتر و سبک شدن سیستم های حرارتی، کمتر شدن هزینه های عملیاتی و پاک سازی محیط زیست اشاره نمود. اگر سرعت انتقال حرارت توسط سیالات بیش از پیش افزایش یابد، طراحی رادیاتورها آسانتر و مؤثرتر شده و می توان آن ها را کوچکتر ساخت. همچنین اندازه پمپ های خنک کننده می تواند کاهش یابد.

مطالعات زیادی به منظور شناخت خواص نانو سیال ها انجام شده است. نتایج بیانگر نسبت سطح به حجم زیاد، سوسپانسیون پایدار و عدم کلوخه شدن در مسیر های عبور است که این سیالات را برای مقاصد انتقال حرارت مناسب می سازد. با وجود این باید قبول کرد که تحقیقات روی کاربردهای انتقال حرارت نانو سیال هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد و ضروری است مکانیزم افزایش انتقال حرارت کاملا شناخته شده و تحقیقات موجود تکمیل گردد.

---

[1] Nanofluids

هنگامی که جریان جت با یک سطح برخورد می کند ناحیه نقطه سکون[۲] تشکیل می شود که در هنگام برخورد سرعت صفر می شود و پس از آن جریان در امتداد سطح حرکت می کند. از آنجایی که در برخورد جت نانوسیال با سطح، ماکزیمم انتقال حرارت در منطقه نقطه سکون اتفاق می افتد، مطالعه و تحلیل لایه مرزی هیدرودینامیکی و حرارتی در این منطقه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به همین دلیل در این پژوهش میدان جریان و انتقال حرارت نقطه سکون نانوسیال مورد توجه قرار گرفت.

هدف در این تحقیق مطالعه تحلیلی و عددی میدان جریان و انتقال حرارت نقطه سکون نانوسیال برای دو حالت وجود و عدم وجود حرکت براونی[۳] و ترموفورز[۴] می باشد.به علاوه شرایط خاصی هم در این تحقیق در نظر گرفته می شود که می توان از وجود میدان مغناطیسی، وجود محیط متخلخل[۵]، کشیدگی خطی دیواره و وجود انتقال حرارت تشعشعی[۶] نام برد.

در این پروژه ابتدا تعریف کاملی از نانوسیال و نقطه سکون و کاربرد های صنعتی آنها ارائه می شود. سپس ، مروری بر پیشینه تحقیق که در این رابطه انجام شده و ارتباط این مطالعه با تحقیقات گذشته آورده شده است تا مسیر انجام این پروژه به شکل مطلوب و در راستای مشخص دنبال شود. بعد از آن، هندسه های مختلفی از نقطه سکون نظیر نقطه سکون روی صفحه ثابت و نیز نقطه سکون روی صفحه در حال کشش (برای صفحه های افقی و عمودی) و در دو حالت وجود و عدم وجود حرکت براونی و ترموفورز بررسی می شود و در نهایت یافته های حاصل از تحلیل ها به صورت داده های جدول و نموداری ارائه می شود و نتایج حاصل از این داده ها مورد تجزیه و تحلیل کلی قرار می گیرد.

---

[۲] Stagnation point
[۳] Brownian motion
[۴] Thermophoresis
[۵] Porous media
[۶] Radiation

فصل دوم

نانوسیال

۲) نانو سیال

۲-۱) مقدمه

تلاشهای زیادی برای یافتن سیالات جدید منتقل کننده حرارت (مانند اتیلن گلیکول، الکل و انواع مبرد) جهت بهبود بخشیدن به راندمان حرارتی سیستم های خنک کننده انجام گرفته است. یک روش پیشنهادی وارد کردن ذرات جامد با هدایت حرارتی بالا به سیال خنک کننده است. با توجه به نظریه محیط مؤثر برای محاسبه هدایت حرارتی یک مخلوط، هدایت حرارتی چنین سیالی با توجه به این که هدایت حرارتی ذرات از سیال اطراف آن بیشتر است، باید بالاتر از مایع خالص باشد. مطالعات اولیه با استفاده از ذرات میلیمتری انجام شد و افزایش هدایت حرارتی بیشتری را نسبت به سیال پایه نشان داد. البته با استفاده از این مخلوط دوفازی مشکلاتی مانند رسوب و گرفتگی مسیر و افت فشار زیاد جریان نیز گزارش شده است.

یکی از پیشرفت های اخیر در زمینه نانوتکنولوژی[۷]، امکان تولید نانوذرات فلزی و غیرفلزی است. نانوسیالات، سوسپانسیونی از ذرات نانومتری که معمولاً اندازه آنها کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر است، در سیال پایه یا حامل می باشند. اصطلاح "نانوسیال" نخستین بار توسط چویی[۸][۱] در آزمایشگاه ملی آرگون معرفی شد. از جمله نمونه های نانوسیال می توان به ذرات اکسید آلومینیوم در آب دیونیزه، اکسید مس در اتیلن گلیکول یا نانوتیوب های کربن در روغن اشاره کرد. مقدار بسیار کم از نانوذرات که به صورت یکنواخت و پایدار در سیال پایه پخش می شود، خواص حرارتی مخلوط را افزایش می دهد.

کوچکترین نانوذرات[۹] با قطر فقط چند نانومتر، چند صد اتم را شامل می شوند. تمام مکانیزم های فیزیکی یک مقیاس طولی بحرانی دارند که در اندازه های کمتر از آن خواص فیزیکی مواد تغییر می

---

[۷] Nanotechnology
[۸] Choi
[۹] Nanoparticle