دانشگاه تبریز

دانشکده فنی مهندسی مکانیک

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک- تبدیل انرژی

عنوان

بررسی عددی تاثیرات میدان مغناطیسی بر انتقال حرارت جریان نانوسیال در یک لوله خمیده

استاد راهنما

دکتر حبیب امین فر

استاد مشاور

دکتر سیداسماعیل رضوی

پژوهشگر

یوسف نرمانی کهنموئی

بهمن‌ماه ۸۹

بسم الله الرحمن الرحیم

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به **پدرم و مادرم** تقدیم می کنم

تشکر و قدردانی

مشق شب گرچه نوشتیم و کتابی خواندیم　　مقصد آن است که از این همه انسان باشیم

در این مجال لازم می دانم از همکاری عزیزانی که در انجام این رساله یاریم نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

از استاد راهنمای بزرگوار و فرهیخته‌ام جناب آقای دکتر حبیب امین فر که در هر دو زمینه‌ی علم و ادب استاد و راهنمای من بود، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر سید اسماعیل رضوی که در طول انجام پروژه از مشاورت های ایشان بهره مند گردیدم، تشکر می نمایم.

از استاد عالیقدرم جناب آقای دکتر فرامرز طلعتی که امر داوری پایان نامه را بر عهده داشتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از همکاری های بی دریغ و صمیمانه‌ی جناب آقای دکتر موسی محمد پور فرد عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت معلم آذربایجان که در طول انجام این پایان نامه همواره یاری بخش بنده‌ی حقیر بودند، تشکر و قدردانی می نمایم.

بر خود لازم میدانم از از همکاری های دوستان عزیزم آقایان مهندس علی اسماعیل نژاد و مهندس میر حمید سید سجادی و کلیه اساتید و مسئولین محترم دانشکده فنی مهندسی مکانیک تشکر نمایم و از خداوند متعال برای این عزیزان سربلندی و بهروزی آرزومندم.

نام خانوادگی دانشجو: نرمانی کهنموئی **نام**: یوسف

عنوان پایان نامه: بررسی عددی تاثیرات میدان مغناطیسی بر انتقال حرارت جریان نانوسیال در یک لوله خمیده

استاد راهنما: دکتر حبیب امین فر

استاد مشاور: دکتر سیداسماعیل رضوی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی مکانیک **گرایش:** تبدیل انرژی

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** فنی مهندسی مکانیک **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۸۹/۱۱/۲۰ **تعداد صفحه:** ۹۸

واژه های کلیدی: نانوسیال، انتقال حرارت جابجائی ترکیبی، لوله‌ی خمیده، میدان مغناطیسی، مدل مخلوط دوفازی

چکیده:

در پایان نامه حاضر در مرحله اول با روشهای تک‌فازی و مدل مخلوط دوفازی به مطالعه‌ی رفتار هیدرودینامیکی و حرارتی جریان نانوسیال در یک لوله‌ی خمیده پرداخته شده است. مدلهای تکفازی و مخلوط دو فازی با هم مقایسه شده است. تأثیر کسر حجمی نانوذرات، جنس سیال و نانوذرات، عدد رینولدز و عدد گراشف و ... روی جریان و انتقال حرارت بررسی شده‌اند. همچنین جریان‌های ثانویه ناشی از نیروهای شناوری و گریز از مرکز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. علاوه بر این تفاوت انتقال گرما در لوله‌های خمیده و مستقیم نیز بررسی شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که افزودن نانوذرات و ایجاد خمیدگی که به ترتیب باعث افزایش رسانش گرمایی سیال و افزایش جریانهای ثانویه می‌شوند، انتقال حرارت را به طور چشمگیری افزایش می‌دهند. در ادامه‌ی پژوهش با اعمال یک میدان مغناطیسی خطی بر جریان نانوسیال مغناطیسی در لوله‌ی خمیده، جریانهای ثانویه ناشی از نیروی مغناطیسی و تأثیر آن بر رفتار حرارتی مورد مطالعه قرار گرفته است. روابط مربوط به اعمال میدان مغناطیسی که نیروی مغناطیسی (Kelvin force)، و سرعت لغزشی نانوذرات است با توجه به هیدرودینامیک سیالات مغناطیسی (Ferrohydrodynamics) و دینامیک ذرات استخراج شده و با نوشتن کدهایی به معادلات حاکم بر جریان سیال در نرم‌افزار ANSYS FLUENT 12 اضافه شده‌اند. نتایج حاصل نشان‌دهنده‌ی افزایش جریانهای ثانویه و به دنبال آن افزایش ضریب انتقال حرارت با اعمال میدان مغناطیسی است. در انتها نیز به بررسی جریان و انتقال حرارت نانوسیال مغناطیسی در یک لوله‌ی قائم مستقیم با جریان روبه‌بالا تحت تأثیر میدان مغناطیسی خطی در راستای جریان پرداخته شده و نشان داده شده است که نیروی مغناطیسی در جهت جریان باعث مکش سیال شده اما ضریب انتقال حرارت را کاهش می‌دهد. درحالیکه نیروی مغناطیسی در خلاف جهت جریان باعث افزایش افت فشار و افزایش انتقال حرارت می‌گردد.

فصل اول : مقدمه و پیشینه پژوهش

۱-۱ نانو سیال و فروسیال ۲
۱-۲ اهمیت و کاربرد نانوسیال‌ها ۳
۱-۲-۱ بهبود انتقال حرارت و پایداری ۳
۱-۲-۲ کاهش توان لازم برای پمپاژ سیال ۳
۱-۲-۳ کاهش گرفتگی و انسداد مجاری ۴
۱-۲-۴ کاهش اندازه‌ی سیستم‌های انتقال حرارت ۴
۱-۳ تاریخچه ۵
۱-۳-۱ مروری بر مطالعات انجام گرفته روی رسانش گرمایی نانوسیال‌ها ۶
۱-۳-۲ مروری بر مطالعات انجام گرفته روی لزجت نانوسیال‌ها ۹
۱-۳-۳ پیشینه‌ی پژوهش روی انتقال گرمای جابجایی در نانوسیال‌ها ۱۰

فصل دوم: مواد و روشها

۲-۱ فروهیدرودینامیک ۲۰
۲-۱-۱ مغناطیس‌پذیری و نیروی مغناطیسی ۲۱
۲-۱-۲ گشتاور مغناطیسی نانوذرات ۲۵
۲-۲ مدل تک‌فازی در حل معادلات جریان ۲۶
۲-۲-۱ معادلات حاکم بر مدل تک‌فازی ۲۷
۲-۲-۲ خواص ترموفیزیکی مورد استفاده در مدل تک‌فازی ۲۷
۲-۲-۳ شرایط مرزی در مدل تک‌فازی ۲۸
۲-۳ مدل مخلوط دوفازی در حل معادلات جریان ۲۹
۲-۳-۱ معادلات حاکم بر مدل مخلوط دوفازی ۳۰
۲-۳-۲ خواص ترموفیزیکی مورد استفاده در مدل مخلوط دوفازی ۳۱

۲-۳-۳ شرایط مرزی در مدل مخلوط دوفازی: ۳۲

۲-۴ تحقیق حاضر ۳۳

۲-۴-۱ تعریف مسأله ۳۳

۲-۴-۲ روش حل مسأله ۳۸

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱ اعتباردهی و بررسی صحت نتایج حل عددی حاضر ۴۲

۳-۲ بررسی استقلال نتایج از شبکه ۴۳

۳-۳ جریان و انتقال حرارت نانوسیال در لوله‌ی خمیده ۴۵

۳-۳- ۱ مقایسه‌ی مدل‌های تک‌فازی و مخلوط دوفازی ۴۵

۳-۳- ۲ بررسی اثرات خمیدگی و افزودن نانوذرات روی پروفیل‌های دما و سرعت ۴۷

۳-۳- ۳ تأثیر عدد رینولدز روی پروفیل‌های سرعت محوری ۵۰

۳-۳- ۴ تأثیر عدد گراشف روی پروفیل‌های سرعت محوری و دما ۵۲

۳-۳- ۵ تأثیر عدد رینولدز روی جریان‌های ثانویه ۵۳

۳-۳- ۶ تأثیر عدد گراشف روی جریان‌های ثانویه ۵۵

۳-۳- ۷ تأثیر عدد رینولدز بر توزیع مقطعی سرعت محوری و دمای بی‌بعد ۵۶

۳-۳- ۸ تأثیر عدد گراشف بر توزیع مقطعی سرعت محوری و دمای بی‌بعد ۵۹

۳-۳- ۹ اثر قطر ذرات جامد بر رسوب آنها ۶۱

۳-۳- ۱۰ تأثیر کسر حجمی نانوذرات روی ضریب انتقال حرارت ۶۲

۳-۳- ۱۱ تأثیر عدد رینولدز روی ضریب انتقال حرارت ۶۳

۳-۳- ۱۲ تأثیر عدد گراشف روی ضریب انتقال حرارت ۶۴

۳-۳- ۱۳ تأثیر جنس نانوذرات، سیال پایه و ترکیب نانوسیال روی ضریب انتقال حرارت ۶۶

۳-۳-۱۴ مقایسه ضریب انتقال حرارت در لوله‌های خمیده و مستقیم با طول و قطر یکسان ۶۶

۳-۳- ۱۵ تأثیر کسر حجمی نانوذرات بر ضریب انتقال حرارت در لوله‌های مستقیم وخمیده ۶۸
۳-۳- ۱۶ تأثیر کسر حجمی نانوذرات و عدد رینولدز روی ضریب اصطکاک پوستی ۶۹
۳-۳- ۱۷ تأثیر عدد گراشف روی ضریب اصطکاک پوستی ۷۱
۳-۴ بررسی اثرات میدان مغناطیسی بر جریان و انتقال حرارت نانوسیال در لوله‌ی خمیده ۷۲
۳-۴-۱ تأثیر میدان مغناطیسی روی جریان‌های ثانویه ۷۲
۳-۴-۲ تأثیر میدان مغناطیسی بر توزیع دمای سیال ۷۵
۳-۴-۳ تأثیر میدان مغناطیسی روی توزیع محیطی دمای دیواره ۷۶
۳-۴-۴ تأثیر میدان مغناطیسی روی توزیع محیطی ضریب اصطکاک پوستی ۷۸
۳-۴-۵ تأثیر میدان مغناطیسی بر ضریب انتقال حرارت ۷۹
۳-۴-۶ تأثیر میدان مغناطیسی بر ضریب اصطکاک پوستی ۷۹
۳-۴-۷ اثرات خمیدگی، نانوذرات و اعمال میدان مغناطیسی بر ضریب انتقال حرارت ۸۲
۳-۵ اثرات میدان مغناطیسی بر جریان و انتقال حرارت نانوسیال در لوله‌ی قائم مستقیم ۸۳
۳-۵-۱ تأثیر نیروی شناوری و نیروی مغناطیسی روی پروفیل سرعت محوری ۸۳
۳-۵-۲ تأثیر نیروی شناوری و نیروی مغناطیسی روی عدد ناسلت ۸۳
۳-۵-۳ تأثیر نیروی مغناطیسی بر تغییرات پروفیل سرعت محوری در طول لوله ۸۵
۳-۵-۴ اثر تغییر میدان مغناطیسی بر پروفیل سرعت محوری و عدد ناسلت ۸۷
۳-۵-۵ اثر تغییر میدان مغناطیسی روی توزیع فشار در طول جریان ۸۹
۳-۵-۶ تأثیر میدان مغناطیسی روی عدد ناسلت در اعداد رینولدز مختلف ۹۰
۳-۶ نتیجه‌گیری ۹۱
۳-۷ پیشنهاد برای ادامه‌ی کار ۹۳
مقالات استخراج شده ۹۴
مراجع ۹۵

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ خواص ترموفیزیکی سیال و نانوذرات مورد استفاده ۳۴

جدول ۳-۱ بررسی استقلال شبکه روی یک نقطه از دامنه‌ی محاسباتی در لوله‌ی افقی خمیده. ۴۳

جدول ۳-۲ بررسی استقلال شبکه روی یک نقطه از دامنه‌ی محاسباتی در لوله‌ی قائم. ۴۳

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱ رسانش گرمایی نانوسیالات اکسیدی بر حسب کسر حجمی نانوذرات ۷
شکل ۱-۲ مقایسه رسانش گرمایی نانوسیال آب- اکسید مس با مدل همیلتون-کراسر ۷
شکل ۱-۳ تغییر رسانش گرمایی نانوسیال آب- اکسید آلومینیوم با دما ۹
شکل ۱-۴ ضریب انتقال حرارت بر حسب عدد رینولدز برای نانوسیال ۱۱
شکل ۱-۵ تغییر ضریب انتقال حرارت بر حسب سرعت نانوسیال ۱۲
شکل ۲-۱ مغناطیس‌پذیری نانوسیال روغن هیدروکربن- اکسید آهن بر حسب میدان اعمالی ۲۲
شکل ۲-۲ مغناطیس‌پذیری نانوسیال نفت- Mn-Zn بر حسب دمای سیال در حضور میدان‌های مختلف ۲۲
شکل ۲-۳ رفتار نانوذرات مغناطیسی در اثر اعمال میدان مغناطیسی ۲۳
شکل ۲-۴ جهت‌گیری نانوذرات قبل و بعد از اعمال یک میدان مغناطیسی یکنواخت ۲۵
شکل ۲-۵ طرحواره‌ی هندسه‌های مورد مطالعه ۳۶
شکل ۲-۶ تصویر سه‌بعدی از لوله‌ی افقی خمیده‌ی مورد مطالعه ۳۷
شکل ۲-۷ طرحواره‌ی هندسه‌ی مورد مطالعه برای لوله عمودی مستقیم تحت تأثیر میدان مغناطیسی ۳۷
شکل ۲-۸ نمایی از شبکه‌ی محاسباتی تولید شده: الف- لوله افقی مستقیم، ب- لوله افقی خمیده ۳۸
شکل ۲-۹ ترتیب حل معادلات حاکم توسط حل کننده فشارمبنا ۳۹
شکل ۳-۱ مقایسه‌ی نتایج عددی حاضر با داده‌های آزمایشگاهی کیم و همکاران ۴۲
شکل ۳-۲ مقایسه نتایج حاضر برای عدد ناسلت متوسط در یک لوله خمیده با نتایج عددی اکبری‌نیا و لائور ۴۳
شکل ۳-۳ مقایسه نتایج حاضر برای توزیع پروفیل سرعت محوری در یک لوله خمیده با نتایج اکبری‌نیا و لائور ۴۳
شکل ۳-۴ مقایسه مدل‌های تک‌فازی و مخلوط دوفازی: الف) پروفیل سرعت محوری و ب) پروفیل دما ۴۶
شکل ۳-۵ مقایسه مدل‌های تک‌فازی و مخلوط دوفازی برای عدد ناسلت ۴۶
شکل ۳-۶ پروفیل سرعت محوری بی بعد روی قطر افقی برای کسرهای حجمی مختلف ۴۸
شکل ۳-۷ پروفیل‌های نسبت دمای سیال به دمای ورودی روی قطرهای افقی برای کسرهای حجمی٪۰ و ٪۲ ..... ۴۹
شکل ۳-۸ تأثیر عدد رینولدز روی پروفیل سرعت محوری در زوایای محوری مختلف ۵۱
شکل ۳-۹ تأثیر عدد گراشف روی پروفیل (الف) سرعت محوری و (ب) دما در زاویه محوری ۴۵ درجه ۵۲
شکل ۳-۱۰ تأثیر عدد گراشف روی پروفیل (الف) سرعت محوری و (ب) دما در زاویه محوری ۹۰ درجه ۵۳

شکل ۳-۱۱ تأثیر عدد رینولدز روی جریان‌های ثانویه ۵۴
شکل ۳-۱۲ تأثیر عدد گراشف روی جریان‌های ثانویه ۵۶
شکل ۳-۱۳ کانتورهای سرعت محوری (v_θ / V_0) در مقاطع مختلف ۵۷
شکل ۳-۱۴ کانتورهای بی‌بعد دما ($(T-T_0)/(T_w-T_b)$) در مقاطع مختلف ۵۸
شکل ۳-۱۵ کانتورهای سرعت محوری (v_θ / V_0) در مقاطع مختلف ۵۹
شکل ۳-۱۶ کانتورهای بی‌بعد دما ((T-T0)/(Tw-Tb)) در مقاطع مختلف ۶۰
شکل ۳-۱۷ توزیع ذرات جامد در مقاطع مختلف برای قطرهای متفاوت از نانوذرات ۶۱
شکل ۳-۱۸ تأثیر کسر حجمی نانوذرات روی ضریب انتقال حرارت در اعداد رینولدز مختلف ۶۳
شکل ۳-۱۹ تأثیر عدد رینولدز روی ضریب انتقال حرارت ۶۴
شکل ۳-۲۰ تأثیر عدد گراشف روی ضریب انتقال حرارت ۶۵
شکل ۳-۲۱ تأثیر (الف) جنس نانوذرات، (ب) جنس سیال پایه و (ج) ترکیب نانوسیال روی ضریب انتقال حرارت ... ۶۷
شکل ۳-۲۲ تأثیر نیروهای شناوری و گریز از مرکز روی ضریب انتقال حرارت ۶۸
شکل ۳-۲۳ تأثیر کسر حجمی نانوذرات روی ضریب انتقال حرارت در لوله‌های: (الف) مستقیم و (ب) خمیده ۶۹
شکل ۳-۲۴ تأثیر کسر حجمی نانوذرات روی ضریب اصطکاک پوستی ۷۰
شکل ۳-۲۵ تأثیر عدد رینولدز روی ضریب اصطکاک پوستی ۷۰
شکل ۳-۲۶ تأثیر عدد گراشف روی ضریب اصطکاک پوستی در اعداد رینولدز مختلف ۷۱
شکل ۳-۲۷ جریان ثانویه تحت تأثیر میدان مغناطیسی برای عدد رینولدز ۵۰ ..... ۷۳
شکل ۳-۲۸ جریان ثانویه تحت تأثیر میدان مغناطیسی برای عدد رینولدز ۱۰۰ ..... ۷۴
شکل ۳-۲۹ کانتورهای بی‌بعد دما (T/T_0) تحت تأثیر میدان مغناطیسی برای عدد رینولدز ۵۰ ..... ۷۵
شکل ۳-۳۰ کانتورهای بی‌بعد دما (T/T_0) تحت تأثیر میدان مغناطیسی برای رینولدز ۱۰۰ ..... ۷۶
شکل ۳-۳۱ توزیع محیطی دمای دیواره تحت تأثیر میدان مغناطیسی برای اعداد رینولدز۵۰ و ۱۰۰ ..... ۷۷
شکل ۳-۳۲ توزیع محیطی ضریب اصطکاک پوستی تحت تأثیر میدان مغناطیسی برای اعداد رینولدز ۵۰ و ۱۰۰ .... ۷۸
شکل ۳-۳۳ تغییرات ضریب انتقال حرارت تحت تأثیر میدان مغناطیسی برای اعداد رینولدز۵۰ و ۱۰۰و۲۰۰ ..... ۸۰
شکل ۳-۳۴ تغییرات ضریب اصطکاک پوستی تحت تأثیر میدان مغناطیسی برای اعداد رینولدز۵۰ و ۱۰۰و۲۰۰ .... ۸۱
شکل ۳-۳۵ تغییرات ضریب انتقال حرارت بر اثر خمیدگی، افزودن نانوذرات و اعمال میدان مغناطیسی ۸۲
شکل ۳-۳۶ اثرات نیروی شناوری و نیروی مغناطیسی روی سرعت محوری بی‌بعد برای رینولدزهای ۲۰ و ۴۰ ..... ۸۴

شکل ۳-۳۷ اثرات نیروی شناوری و نیروی مغناطیسی روی عدد ناسلت برای رینولدزهای ۲۰ و ۴۰..... ۸۵
شکل ۳-۳۸ تغییرات پروفیل سرعت محوری در طول لوله تحت تأثیر میدان مغناطیسی با گرادیانهای مختلف ۸۶
شکل ۳-۳۹ تغییر شکل پروفیل سرعت محوری در یک مقطع خاص تحت تأثیر میدان مغناطیسی ۸۷
شکل ۳-۴۰ اثر میدان مغناطیسی روی عدد ناسلت برای رینولدزهای ۲۰ و ۴۰..... ۸۸
شکل ۳-۴۱ اثر میدان مغناطیسی روی توزیع فشار در طول جریان برای رینولدزهای ۲۰ و ۴۰ ..... ۸۹
شکل ۳-۴۲ نسبت عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز تحت اثر میدان مغناطیسی ۹۰

فهرست علائم

علائم لاتین

$\vec{a}$	بردارشتاب نانوذره	m/s^2
$c_{f,av.}$	ضریب اصطکاک پوسته‌ای متوسط حول دیواره	$=\frac{\tau_w}{\rho V^2}$
c_p	گرمای ویژه	J/kgK
D	قطر لوله	m
d_{h}	مختصات قطری افقی از دیواره داخلی به سمت دیواره خارجی	m
d_{p}	قطر نانوذره	m
d_{v}	مختصات قطری عمودی از پائین به سمت بالا	m
g	شتاب گرانش	m/s^2
G	گرادیان میدان مغناطیسی	A/m^2
Gr	عدد بی‌بعد گراشف	$=\frac{g\beta q_w \rho^2 D^4}{k\mu^2}$
$\overrightarrow{\mathrm{H}}$	بردار میدان مغناطیسی	A/m
$h_{av.}$	ضریب انتقال حرارت متوسط حول دیواره	$=\frac{q_w}{(\bar{T}_w - T_b)}$
k	ضریب هدایت حرارتی	$w/m.K$
k_{B}	ثابت بولتزمن	$1.3806503 \times 10^{-23} J/K$
l	طول لوله‌ی مستقیم	m
L	تابع لانژوئن	$N.D$
M	مغناطیس‌پذیری	A/m
M_{s}	اشباع مغناطیسی	A/m
m_{p}	گشتاور مغناطیسی نانوذره	$A.m^2$
N_M	تعداد مولکول موجود در هر نانوذره	N.D
N_{p}	تعداد نانوذره در واحد حجم	m^{-3}
$Nu_{av.}$	عدد ناسلت متوسط حول دیواره	$=\frac{q_w D}{k(\bar{T}_w - T_b)}$

P	فشار استاتیک	Pa
q_w	شار حرارتی دیواره	W/m^2
r	مختصات شعاعی	m
Re	عدد بی‌بعد رینولدز	$=\frac{\rho VD}{\mu}$
T	دمای استاتیک	K
T_w	دمای دیواره	K
$\vec{v}$	بردار سرعت	m/s
$\vec{v}_{dr}$	بردار سرعت دریفت	m/s
$\vec{v}_{pf}$	بردار سرعت لغزشی	m/s
V_M	حجم مولکولی	m^3
V_{p}	حجم نانوذره	m^3

علائم یونانی

α_p	کسر حجمی نانوذرات	$N.D$
β	ضریب انبساط حرارتی	$1/K$
ξ	پارامتر لانژوئن	$N.D$
θ	مختصات زاویه‌ای لوله خمیده	$Radian$
μ	لزجت دینامیکی	$kg/m.s$
μ_0	گذردهی مغناطیسی خلاء	$4\pi \times 10^{-7} T.m/A$
μ_{B}	مگنتون بوهر	$9.27 \times 10^{-24} Am^2$
ρ	چگالی	kg/m^3
τ_{w}	تنش برشی دیواره	$kg/m.s^2$
φ	مختصات محیطی	$Radian$

زیرنویس ها

0	شرایط ورودی
eff	موثر
f	سیال پایه
m	مخلوط
p	ذره

فصل اول : مقدمه و پیشینه پژوهش

بهینه‌سازی تجهیزات انتقال حرارت برای رسیدن به راندمان بالاتر انرژی نیازمند تمرکز بر کوچک‌سازی تجهیزات از یک سو و افزایش شدت انتقال حرارت بازای واحد سطح از سوی دیگر می‌باشد. سیالاتی مانند آب و اتیلن‌گلیکول در انتقال حرارت مربوط به فرآیندهای صنعتی مانند فرآیندهای تولید نیرو، فرایندهای شیمیایی، فرآیندهای سرمایش و گرمایش و میکروالکترونیک نقش زیادی بر عهده دارند. خواص ضعیف انتقال حرارت سیالات متداول نظیر سیالات مذکور اولین مانع جدی در فشرده‌سازی و کارآمدسازی این تجهیزات است. رسانش گرمایی برخی از جامدات نظیر فلزات ده‌ها برابر مایعات متداول حامل انرژی است. بر این اساس ایده‌ی بهبود و افزایش رسانش گرمایی مایعات با افزودن ذرات جامد بسیار ریز شکل گرفته است. هرچند سوسپانسیونهای محتوی ذرات با ابعاد میلی‌متر یا میکرومتر دارای مشکلاتی نظیر گرفتگی مجاری حرکت سیال، ته‌نشینی سریع و افت فشار بیش از حد را دارند با ذرات کوچکتر در ابعاد نانومتر می‌توان این مشکلات را درحد بسیار بالایی کاهش داد.

۱-۱ نانو سیال و فروسیال[1]

نانو سیال، سیالی است که از توزیع ذرات جامد با ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر در سیالات تجهیزات حرارتی به وجود می‌آید. جنس این ذرات معمولاً از فلزات و یا اکسیدهای فلزی است. با توجه به بالاتر بودن ضریب رسانش گرمایی این ذرات در مقایسه با سیالات رایج در انتقال حرارت انتظار می‌رود که نانو سیال کارآیی حرارتی بهتری نسبت به سیال پایه‌ی مربوطه داشته باشد. دلیل انتخاب ابعاد نانو برای اندازه‌ی این ذرات، پایداری بیشتر آنها در مقایسه با ذرات بزرگتر و سطح تبادل حرارتی بیشتر، همزمان با داشتن وزن کمتر می‌باشد. نانوسیال مغناطیسی و یا فروسیال، نیز گونه‌ی خاصی از نانوسیال‌ها است که در آن نانوذرات مغناطیسی با ابعادی در حدود ۳ تا ۱۵ نانومتر به طور پایدار در یک سیال پایه نظیر آب و یا نفت پراکنده شده‌اند. سیال مغناطیسی و مفهوم کاربردی آن برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ از نتایج یک تحقیق در مورد تکنولوژی فضایی در ناسا ظهور پیدا کرد. از زمان

[1] ferrofluid

اولین پیدایش سیال مغناطیسی پیشرفت‌های زیادی جهت تولید سیالات مغناطیسی با کیفیت بالا جهت کاربرد در زمینه‌های مختلف تکنولوژی، پزشکی و علمی شده است[۱].

۱-۲ اهمیت و کاربرد نانوسیال‌ها

فرآیند انتقال حرارت و استفاده از مبدل‌های حرارتی در اغلب صنایع کوچک و بزرگ وجود دارد. افزایش میزان انتقال حرارت و کارائی مبدل‌های حرارتی به معنی صرفه‌جویی میلیون‌ها دلار در هزینه‌ها می‌باشد. با رفتاری که نانوسیال در زمینه‌ی انتقال حرارت از خود نشان داده است امید به صرفه‌جویی در هزینه‌ها، به ویژه صنایع بزرگ بیشتر شده است. برخی از مزایا و قابلیت‌های نانوسیال به شرح زیر است[۲]:

۱-۲-۱ بهبود انتقال حرارت و پایداری

کاهش اندازه ذرات یک جامد که توام با افزایش تعداد آنها در واحد جرم است منجر به افزایش سطح مخصوص می‌گردد به طوریکه سطح مخصوص ذراتی با ابعاد نانومتری در حدود هزار برابر سطح مخصوص ذراتی با ابعاد میکرومتر است. سطح ذرات در انتقال حرارت موثر بوده و استفاده از نانوسیال به افزایش سطح انتقال حرارت منجر می‌گردد. مقایسه سطح ایجاد شده برای انتقال حرارت در نانوذرات با سطح پودرهای متداول میکرومتری بیانگر توانایی و قابلیت زیاد نانوذرات در افزایش انتقال حرارت و ایجاد سوسپانسیون پایدار می‌باشد. گفتنی است یکی از مشکلات اساسی افزودن ذرات میکرونی به سیال پایه ته‌نشینی سریع آنها می‌باشد که با استفاده از ذرات نانو این مشکل تا حد زیادی برطرف گردیده است.

۱-۲-۲ کاهش توان لازم برای پمپاژ سیال

در سیالات متداول حامل انرژی، افزایش میزان انتقال حرارت جابجایی مستلزم افزایش سرعت سیال برای بالا بردن عدد رینولدز و در نتیجه ضریب انتقال حرارت جابجایی است. این افزایش سرعت در درون تجهیزات به نوبه‌ی خود مستلزم افزایش توان مصرفی پمپ می‌باشد. اما درصورتیکه از

نانوسیال برای این کار استفاده شود برای یک سرعت و یا رینولدز مشخص افزایش انتقال حرارت نتیجه‌ی افزایش رسانش گرمایی سیال خواهد بود. به عنوان مثال افزایش انتقال حرارت به میزان دو برابر با سیال پایه نیازمند افزایش توان پمپ به حدود ۱۰ برابر می‌باشد. درحالیکه با افزودن نانوذرات به سیال پایه و سه برابر نمودن رسانش گرمایی نسبت به سیال پایه، بدون نیاز به افزایش توان پمپ می‌توان انتقال حرارت را دو برابر کرد. بنابراین کاهش هزینه‌ی انرژی و کاهش توان مصرفی پمپ‌ها از دیگر مزایای نانوسیالات است.

۱-۲-۳ کاهش گرفتگی و انسداد مجاری

ایده‌ی افزایش انتقال حرارت با استفاده از افزودن ذرات به یک سیال پایه قدمتی نزدیک به صد سال دارد. لیکن ذراتی که در تحقیقات قدیمی به سیالات پایه افزوده می‌شد دارای ابعاد میکرومتری بودند. این ذرات پایداری لازم در سوسپانسیون را نداشته و به سرعت ته‌نشین می‌شدند. این امر سبب می‌شود که مجاری تنگ عبور سیال مسدود گردد. در حالیکه ذرات با اندازه‌ی نانو تشکیل سوسپانسیون‌های بسیار پایدارتری داده و پایین بودن سرعت ته‌نشینی آنها سبب می‌گردد تا مشکل گرفتگی و انسداد مجاری به حداقل برسد. از طرفی بزرگی ذرات میکرومتری سبب عدم کاربرد آنها در میکروکانال‌ها است. در حالیکه از نانوذرات می‌توان جهت استفاده در چنین اهدافی بهره جست.

۱-۲-۴ کاهش اندازه‌ی سیستم‌های انتقال حرارت

با توجه به قابلیتی که نانوسیال از خود در افزایش انتقال حرارت نشان داده است برای انتقال یک مقدار مشخص انتقال حرارت، مبدل‌های حرارتی لازم وقتی که از نانوسیال به جای سیال معمولی استفاده شود از حجم و اندازه‌ی کوچکتری برخوردار خواهند بود

از نانوسیالات مغناطیسی نیز علاوه بر کاربردهای فوق می‌توان جهت کنترل میزان انتقال حرارت (بویژه در تجهیزات الکترونیکی) در حضور میدان مغناطیسی و یا گرادیان میدان مغناطیسی بهره

جست که باعث جابجائی مغناطیسی[1] و افزایش میزان انتقال حرارت می‌شود. خنک‌کاری بر اساس جابجائی ترمومغناطیس[2] نیز در مکان‌هایی با گرانش پایین مانند کاربردهای فضایی که انتقال حرارت جابجائی آزاد گرانشی وجود ندارد و یا سیستم‌هایی که گردش جریان باید برخلاف جهت گرانش انجام گیرد، قابل کاربرد است. از جمله کاربردهای پزشکی نانوذرات مغناطیسی نیز می‌توان به دارورسانی و هایپرترمیا[3] اشاره کرد[۳].

۱-۳ تاریخچه

هرچند که ایده سوسیانسیون‌های مایع- جامد از مدتها قبل مطرح گردیده است. مفهوم نانوسیال یک ایده جدید است این سیالات به دلیل داشتن خواص ویژه، کاربردهای گسترده‌ای (حتی در مقیاس میکرو) در زمینه افزایش نرخ انتقال حرارت دارند [۴]. انتظار می‌رود که در آینده سیالات نانو به نوع جدیدی از سیالات مورد استفاده در انتقال حرارت برای کاربردهای مهندسی تبدیل شوند. اگرچه نانوسیال‌ها از پتانسیل بالایی در زمینه افزایش نرخ انتقال حرارت بر خوردار می‌باشند، کارهای تحقیقاتی روی مفهوم، مکانیزم افزایش و کاربردهای نانوسیال همچنان در مراحل اولیه قرار دارد. مقالات متعددی بر روی تکنیک‌های پیش‌بینی و اندازه‌گیری هدایت گرمایی نانوسیالات متمرکز شده‌است.

تا به امروز مدلهای مختلف تحلیلی، روش‌های عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای کاربردهای عملی به منظور افزایش نرخ انتقال حرارت فهم کاملی از عملکرد انتقال حرارتی نانوسیالات لازم است. در عین حال بسیار مشکل است که به یک تئوری فرمول‌بندی شده برای پیش‌بینی رفتار جریان مواد چند جزئی دست یافت [۵]. انتظار می‌رود که ضریب انتقال حرارت (عدد ناسلت) نانو سیال‌ها به عوامل مختلفی از جمله رسانش گرمایی و ظرفیت حرارتی هر دو جزء

[1] Magnetic convection
[2] Thermomagnetic convection
[3] Hyperthermia