

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران مرکزی
دانشکده فنی، گروه مکانیک
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)
گرایش: تبدیل انرژی

عنوان:

حل عددی جریان و انتقال حرارت سیال حول سیلندر بیضی شکل با استفاده از نانوسیال

استاد راهنما:

دکتر محمد افتخاری یزدی

استاد مشاور:

دکتر آرش میر عبدالله لواسانی

پژوهشگر:

یاسر سیل سپور

زمستان ۹۲

تقدیم به:

پدر و مادر عزیز و گرانبهایم که با عشق و محبت فراوان
در طول تحصیلاتم همواره نسیم تشویقشان نوازش گر اندیشه ام بوده
و متحمل زحمات فراوانشان شده ام
و برادر عزیزم
و همسر مهربان و صبورم

«الحمد لله رب العالمين»

تشکر و قدردانی:

آموخته هایم را که همگی زیر نظر بزرگانی چون
جناب آقای دکتر محمد افتخاری یزدی و جناب آقای آرش میرعبداله لواسانی رقم خورد
را، چون گوهری بر گردن می اندازم و همواره
سپاس گذارشان خواهم بود.

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
	فصل اول : مقدمه
۳	۱-۱ کلیات.....
۵	۲-۱ تعریف نانوسیال.....
۷	۳-۱ مزایای نانوسیال.....
۷	۱-۳-۱ بهبود انتقال حرارت و پایداری.....
۷	۲-۳-۱ کاهش ابعاد سیستم های انتقال حرارت.....
۸	۳-۳-۱ کاهش گرفتگی و انسداد مجاری.....
۸	۴-۳-۱ کاهش توان پمپاژ سیال.....
۸	۵-۳-۱ کاهش هزینه ها.....
۹	۴-۱ کاربرد نانوسیالات.....
۱۱	۵-۱ تهیه نانوسیال.....
۱۱	۱-۵-۱ فرآیند یک مرحله ای.....
۱۱	۲-۵-۱ فرآیند دو مرحله ای.....
۱۲	۶-۱ پایداری سوسپانسیون.....
۱۲	۱-۶-۱ تغییر PH سوسپانسیون.....
۱۲	۲-۶-۱ استفاده از عوامل فعال سطحی یا پراکنده سازها.....
۱۲	۳-۶-۱ استفاده از لرزاننده های مافوق صوت.....
۱۲	۴-۶-۱ روش هوانگ.....

فصل دوم : بررسی پژوهش های انجام شده

۱۴	مقدمه.....
۱۴	۱-۲ بررسی پژوهش های انجام شده.....

۱۷	۲-۲ مطالعات رئولوژیکی نانوسیال
۱۸	۳-۲ چگالی
۱۸	۴-۲ لزجت
۲۰	۵-۲ ظرفیت حرارتی
۲۱	۶-۲ ضریب هدایت حرارتی
۲۱	۱-۶-۲ مکانیزم های افزایش انتقال حرارت هدایتی نانوسیالات
۲۳	۲-۶-۲ عوامل موثر بر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال
۲۵	۳-۶-۲ بررسی مدل های ضریب هدایت حرارتی

فصل سوم : مدل سازی فیزیکی و ریاضی

۲۹	۱-۳ مدل سازی فیزیکی
۳۱	۲-۳ روابط حاکم بر جریان
۳۶	۳-۳ شرایط مرزی
۳۷	۴-۳ بررسی شبکه بندی و روش حل
۳۷	۱-۴-۳ تولید شبکه حل
۳۷	۲-۴-۳ استقلال حل از تعداد گره
۳۹	۳-۴-۳ روش حل عددی
۴۱	۵-۳ ارزیابی روش حل

فصل چهارم : نتایج عددی و بحث نتایج

۴۵	مقدمه
۴۸	۱-۴ بررسی انتقال حرارت نتایج بدست آمده
۴۸	۱-۱-۴ تاثیر افزودن نانو ذرات به سیال پایه بر ضریب انتقال حرارت متوسط
۵۲	۲-۱-۴ تاثیر جنس نانو ذرات بر ضریب انتقال حرارت متوسط
۵۷	۳-۱-۴ تاثیر اندازه نانو ذرات بر ضریب انتقال حرارت متوسط
۵۹	۴-۱-۴ تاثیر افزایش عدد پکله بر ضریب انتقال حرارت متوسط
۶۲	۲-۴ بررسی هیدرودینامیکی نتایج
۶۳	۱-۲-۴ تاثیر افزودن نانو ذرات به سیال پایه بر ضریب درگ جریان نانوسیال
۷۶	۲-۲-۴ تاثیر جنس نانو ذرات بر ضریب درگ جریان نانوسیال
۸۰	۳-۲-۴ تاثیر اندازه نانو ذرات بر ضریب درگ جریان نانوسیال

۴-۲-۴ تاثیر افزایش عدد پکله بر ضریب درگ جریان نانوسیال ۸۴

فصل پنجم : جمع بندی و پیشنهادات

۸۶مقدمه
۸۶ ۱-۵ جمع بندی تاثیر افزودن نانو ذرات به سیال پایه
۸۶ ۲-۵ جمع بندی تاثیر جنس نانو ذرات در جریان نانوسیال
۸۷ ۳-۵ جمع بندی تاثیر اندازه نانو ذرات در جریان نانوسیال
۸۷ ۴-۵ جمع بندی تاثیر افزایش عدد پکله در جریان نانوسیال
۸۸ ۵-۵ پیشنهادات
۸۹ منابع

فهرست جدول ها

- جدول ۳-۱: خصوصیات ترمو فیزیکی سیال پایه و نانوذرات مورد بررسی ۴۰
- جدول ۳-۲: خصوصیات ترمو فیزیکی نانوسیالات مورد بررسی ۴۱
- جدول ۳-۳: جزییات برخی از شبکه ها ۴۵

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۱: مقایسه ضریب هدایت حرارتی چند نمونه جامد با سیالات متداول انتقال حرارتی. ۳
- شکل ۱-۲: تعداد مقالات چاپ شده در زمینه نانوسیالات در کشورهای مختلف ۶
- شکل ۱-۳: نانوسیال Al_2O_3 با قطر نانوذرات ۸۰ نانومتر ۷
- شکل ۱-۴: نانوسیال CuO ۷
- شکل ۱-۳: مدل فیزیکی مساله مورد بررسی ۳۷
- شکل ۲-۳: شبکه بندی سیلندر بیضوی و دیواره های محاط اطراف سیلندر ۴۶
- شکل ۳-۳: نمایی از حل الگوریتم مسئله ۴۸
- شکل ۳-۴: ارزیابی حل عددی حاضر توسط عدد ناسلت در $Re = 10$ ۴۹
- شکل ۳-۵: ارزیابی حل عددی حاضر توسط عدد ناسلت در $Re = 40$ ۵۰
- شکل ۳-۶: ارزیابی حل عددی حاضر توسط ضریب درگ ۵۱
- شکل ۴-۱: خطوط جریان نانوسیال Water/CuO, $\emptyset=4\%$, $d=100\text{ nm}$ ۵۴
- شکل ۴-۲: کانتور فشار (Pa) نانوسیال Water/ Al_2O_3 , $\emptyset=4\%$, $d=30\text{ nm}$ ۵۵
- شکل ۴-۳: کانتور دما (K) نانوسیال Water/CuO, $\emptyset=4\%$, $d=30\text{ nm}$ ۵۵
- شکل ۴-۴: ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال های (۳۰ nm) Water/ Al_2O_3 ۵۷
- شکل ۴-۵: ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال های (۱۰۰ nm) Water/ Al_2O_3 ۵۷
- شکل ۴-۶: ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال های (۳۰ nm) Water/CuO ۵۸
- شکل ۴-۷: ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال های (۱۰۰ nm) Water/CuO ۵۹
- شکل ۴-۸: ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال (d=۳۰ nm) در عدد $Pe=20$ ۶۱
- شکل ۴-۹: ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال (d=۱۰۰ nm) در عدد $Pe=20$ ۶۱
- شکل ۴-۱۰: ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال (d=۳۰ nm) در عدد $Pe=100$ ۶۲
- شکل ۴-۱۱: ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال (d=۱۰۰ nm) در عدد $Pe=100$ ۶۳

- شکل ۴-۱۲: ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال ($d=30\text{nm}$) در عدد $Pe=200$ ۶۴
- شکل ۴-۱۳: ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال ($d=100\text{nm}$) در عدد $Pe=200$ ۶۴
- شکل ۴-۱۴: بررسی افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال $\text{Water}/\text{Al}_2\text{O}_3$ با تغییر اندازه نانو ذرات ۶۵
- شکل ۴-۱۵: بررسی افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال Water/CuO با تغییر اندازه نانو ذرات ۶۶
- شکل ۴-۱۶: بررسی افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال $\text{Water}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ($d=30\text{nm}$) با تغییر عدد پکله ۶۷
- شکل ۴-۱۷: بررسی افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال $\text{Water}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ($d=100\text{nm}$) با تغییر عدد پکله ... ۶۸
- شکل ۴-۱۸: بررسی افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال Water/CuO ($d=30\text{nm}$) با تغییر عدد پکله ۶۹
- شکل ۴-۱۹: بررسی افزایش ضریب انتقال حرارت متوسط نانوسیال Water/CuO ($d=100\text{nm}$) با تغییر عدد پکله ۶۹
- شکل ۴-۲۰: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water}/\text{Al}_2\text{O}_3, \varnothing=2\%, d=30\text{nm}$ نسبت به سیال پایه ۷۱
- شکل ۴-۲۱: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water}/\text{Al}_2\text{O}_3, \varnothing=3\%, d=30\text{nm}$ نسبت به سیال پایه ۷۲
- شکل ۴-۲۲: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water}/\text{Al}_2\text{O}_3, \varnothing=4\%, d=30\text{nm}$ نسبت به سیال پایه ۷۳
- شکل ۴-۲۳: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water}/\text{Al}_2\text{O}_3, \varnothing=2\%, d=100\text{nm}$ نسبت به سیال پایه ۷۴
- شکل ۴-۲۴: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water}/\text{Al}_2\text{O}_3, \varnothing=3\%, d=100\text{nm}$ نسبت به سیال پایه ۷۵
- شکل ۴-۲۵: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water}/\text{Al}_2\text{O}_3, \varnothing=4\%, d=100\text{nm}$ نسبت به سیال پایه ۷۶
- شکل ۴-۲۶: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water}/\text{CuO}, \varnothing=2\%, d=30\text{nm}$ نسبت به سیال پایه ۷۷

- شکل ۴-۲۷: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/CuO}, \varnothing=3\%, d=30\text{ nm}$ نسبت به سیال پایه ۷۷
- شکل ۴-۲۸: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/CuO}, \varnothing=4\%, d=30\text{ nm}$ نسبت به سیال پایه ۷۸
- شکل ۴-۲۹: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/CuO}, \varnothing=2\%, d=100\text{ nm}$ نسبت به سیال پایه ۷۹
- شکل ۴-۳۰: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/Al}_2\text{O}_3, d=30\text{ nm}$ با افزایش کسر حجمی ۸۰
- شکل ۴-۳۱: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/Al}_2\text{O}_3, d=100\text{ nm}$ با افزایش کسر حجمی ۸۱
- شکل ۴-۳۲: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/CuO}, d=30\text{ nm}$ با افزایش کسر حجمی ۸۲
- شکل ۴-۳۳: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/CuO}, d=100\text{ nm}$ با افزایش کسر حجمی ۸۳
- شکل ۴-۳۴: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال ($\varnothing=2\%, d=30\text{ nm}$) با تغییر جنس نانو ذرات ۸۴
- شکل ۴-۳۵: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال ($\varnothing=3\%, d=30\text{ nm}$) با تغییر جنس نانو ذرات ۸۵
- شکل ۴-۳۶: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال ($\varnothing=4\%, d=30\text{ nm}$) با تغییر جنس نانو ذرات ۸۵
- شکل ۴-۳۷: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال ($\varnothing=2\%, d=100\text{ nm}$) با تغییر جنس نانو ذرات ۸۶
- شکل ۴-۳۸: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال ($\varnothing=3\%, d=100\text{ nm}$) با تغییر جنس نانو ذرات ۸۷
- شکل ۴-۳۹: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال ($\varnothing=4\%, d=100\text{ nm}$) با تغییر جنس نانو ذرات ۸۷
- شکل ۴-۴۰: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/Al}_2\text{O}_3, \varnothing=2\%$ با تغییر اندازه نانو ذرات ۸۸
- شکل ۴-۴۱: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/Al}_2\text{O}_3, \varnothing=3\%$ با تغییر اندازه نانو ذرات ۸۹

شکل ۴-۴۲: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/Al}_2\text{O}_3, \phi=4\%$ با تغییر اندازه نانو ذرات ۸۹

شکل ۴-۴۳: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/CuO}, \phi=2\%$ با تغییر اندازه نانو ذرات ۹۰

شکل ۴-۴۴: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/CuO}, \phi=3\%$ با تغییر اندازه نانو ذرات ۹۱

شکل ۴-۴۵: بررسی ضریب درگ جریان نانوسیال $\text{Water/CuO}, \phi=4\%$ با تغییر اندازه نانو ذرات ۹۱

فهرست علائم

چگالی (kg/m^3)	ρ
جرم (kg)	m
حجم (m^3)	V
لزجت دینامیکی (Pa.s)	μ
ظرفیت حرارتی (J/kg K)	c_p
ضریب هدایت حرارتی (W/mK)	k
کسر حجمی	ϕ
ثابت بولتزمن	k_B
سرعت جریان (m/s)	U
دما	T
فشار (Pa)	P
قطر (m)	D
عدد رینولدز	Re
عدد پراانتل	Pr
عدد پکله	Pe
عدد ناسلت	Nu
ضریب انتقال حرارت ($\text{W/m}^2\text{K}$)	h
ضریب درگ	C_D
قطر بزرگ سیلندر بیضی شکل	b
قطر کوچک سیلندر بیضی شکل	a
خصوصیات موثر نانوسیال	eff
نانوسیال	nf

سیال پایه	bf
نانو ذرات	np
جریان آزاد	∞

چکیده:

به دلیل استفاده کاربردی و تئوری های متعدد جریان عبوری بر روی اجسام چندگانه این رشته از تحقیقات یکی از موضوعات مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این پژوهش جریان نانوسیال آب/ Al_2O_3 و آب/ CuO در کسر حجمی کمتر از ۴ درصد و اندازه نانو ذرات ۳۰ نانومتر و ۱۰۰ نانومتر بر روی سیلندر بیضی شکل مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج عددی به دست آمده، اضافه کردن نانو ذرات Al_2O_3 و CuO به سیال پایه آب باعث بهبود خواص انتقال حرارت می شود. هم چنین تاثیر افزایش نانو ذرات و اندازه نانو ذرات و جنس نانو ذرات و افزایش عدد پکله بر ضریب انتقال حرارت در نانوسیالات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل اهمیت خصوصیات هیدرودینامیکی سیال در توان پمپاژ، ضریب درگ جریان نانوسیال نیز مورد بررسی قرار گرفت. ضریب درگ با توجه به متغیر بودن عدد پرانتل نانوسیالات و در نتیجه سرعت جریان در عدد پکله ثابت، رفتار متفاوتی با اضافه کردن نانو ذرات به سیال پایه از خود نشان می دهد.

فصل اول

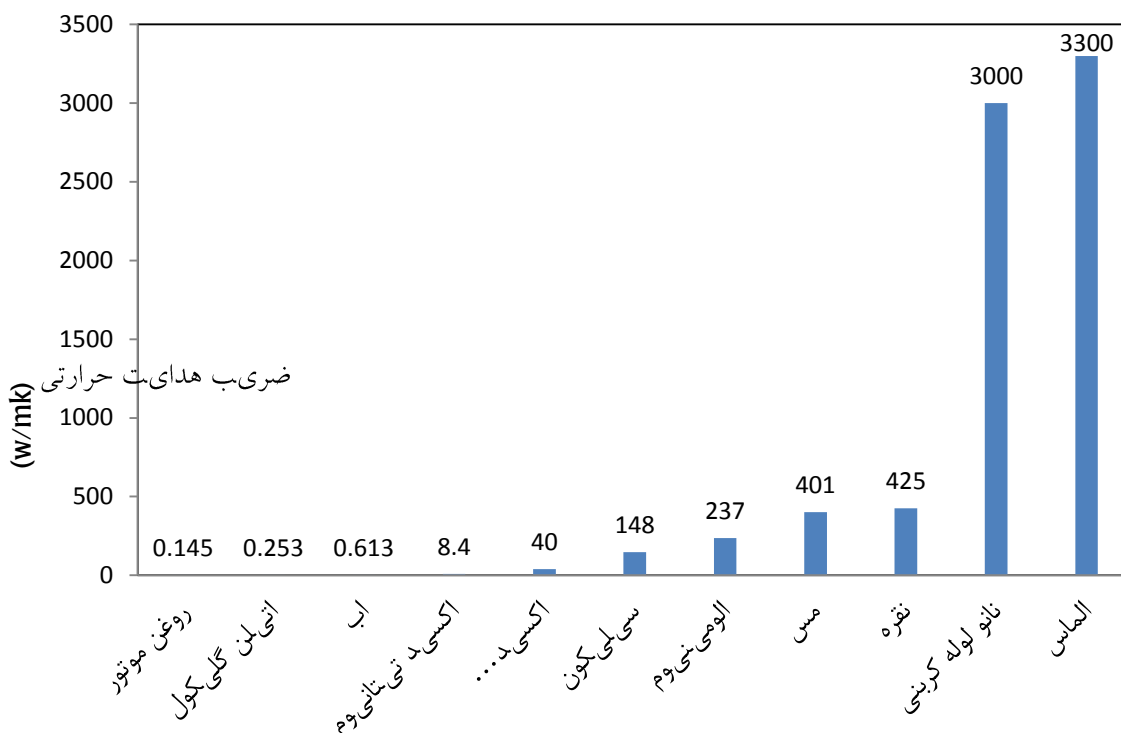
مقدمه

۱-۱ کلیات

به علت استفاده کاربردی و تئوری های متعدد جریان عبوری بر روی اجسام چندگانه، این رشته از تحقیقات یکی از موضوعات مورد توجه محققان در سال های اخیر قرار گرفته است. بیشتر این تحقیقات بر روی سیلندرهای دایروی شکل بوده و اخیرا تلاش های بسیاری برای گسترش دانش جریان بر روی سیلندر با سطح مقطع بیضوی شکل در مقالات مختلف انجام شده است. کاربرد این قبیل ساختارها در صنعت فراوان است که از آن جمله می توان به دسته لوله مبدل های حرارتی، سکوهایی ساحلی، صنایع داروسازی، مواد غذایی، قطعات الکترونیکی، سنسورها و سیلندرهای کوچک مورد استفاده در آزمایشگاه های تحقیقاتی اشاره نمود.

با توجه به این که انتقال حرارت یکی از فرآیندهای مهم در صنایع مختلف است و با پیشرفت علم و تکنولوژی تجهیزات که منجر به افزایش بار حرارتی تولیدی آن ها می شود، لزوم استفاده از روش های تبادل حرارتی با راندمان بالاتر بیش از پیش مشهود می باشد. هم چنین برای حفظ کارایی مطلوب و قابل اطمینان بسیاری از تجهیزات مانند موتور اتومبیل، دستگاه های الکترونیکی، رایانه ها، لیزرها و سایر تجهیزات، انتقال حرارت نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. با افزایش فوق العاده بارهای حرارتی و شارهای حرارتی تولید شده از تجهیزات، خنک نمودن آن ها یکی از مشکلات بسیار پیچیده فنی در صنایع فوق پیشرفته مانند صنایع نظامی، میکرو الکترونیک و حمل و نقل است. هم چنین در صنایع رایانه شاهد کوچک تر شدن حجم و افزایش قدرت پردازش آن ها هستیم که منجر به افزایش حرارت تولید شده از قطعات الکترونیکی مربوطه می شود.

در چند دهه اخیر افزایش انتقال حرارت مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. اغلب سیالات مورد استفاده در صنایع، آب، روغن موتور و اتیلن گلیکول است که دارای خواص حرارتی ضعیفی نسبت به فلزات و حتی اکسیدهای فلزی هستند. برای مثال ضریب هدایت حرارتی مس در دماهای معمولی بیش از ۷۰۰ برابر آب و تقریبا ۳۰۰۰ برابر بیشتر از روغن است.



شکل ۱-۱: مقایسه ضریب هدایت حرارتی چند نمونه جامد با سیالات متداول انتقال حرارتی

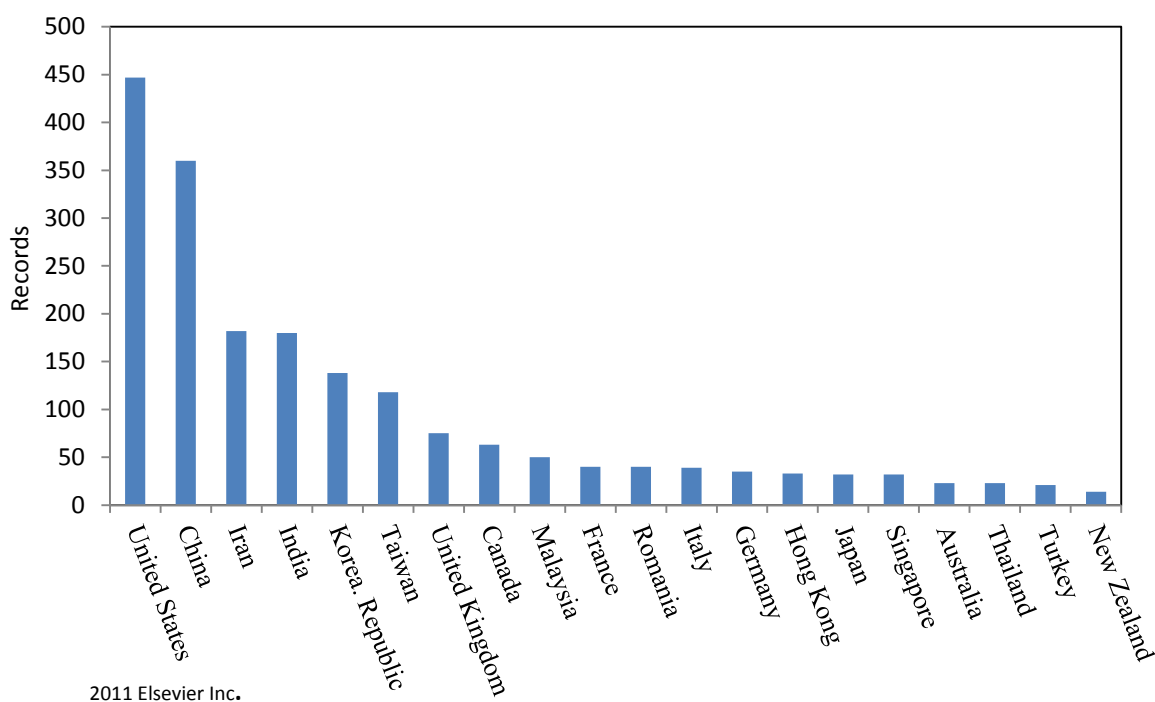
به همین دلیل مطالعات بسیاری در افزایش انتقال حرارت صنایع صورت گرفته است که از میان روش های مختلف می توان به افزایش سطوح حرارتی (پره ها)، لرزش سطوح حرارتی و تزریق یا مکش سیال اشاره نمود [۳۱ و ۳۰]. هم چنین در کنار روش های ذکر شده، روش دیگری نیز توسط ماکسول حدود ۱۰۰ سال پیش به صورت افزودن ذرات جامد میلی متری و نهایتاً میکرومتری به سیالات به منظور افزایش هدایت حرارتی سیالات مطرح شد. استفاده از چنین روشی برای کاربردهای عملی مناسب نبود، زیرا به دلیل وزن زیاد ذرات با ابعاد میلی متری و حتی میکرومتری، کلوخه شدن و انسداد مجاری و افت فشار در مجاری ایجاد می شد. هم چنین برخورد ذرات با دیواره تجهیزات و لوله ها باعث سایش و خوردگی سطوح می شد و به علت اندازه این ذرات، در کانال هایی با ابعاد میکرومتری نیز قابل استفاده نبودند. به خاطر این مشکلات و محدودیت ها، استفاده از مخلوط های متداول جامد- مایع توسعه پیدا نکرد.

امروزه رشد فن آوری جدید نانو تکنولوژی باعث شد که ذرات فلزی یا غیر فلزی در ابعاد نانومتری تولید شوند. کاربرد این نانو ذرات در سیالات مرسوم انتقال حرارت در صورتی که یکنواخت پراکنده شده و پایدار معلق شوند، باعث بهبود در خواص حرارتی سیال پایه خواهد شد. هم چنین در مقایسه با ذرات با ابعاد میلی متر و میکرومتر، خواص انتقال حرارتی مطلوب تری داشته و به مدت طولانی تری در سیال پایدار هستند. علاوه بر آن با کوچک تر شدن اندازه ذرات، سرعت حرکات براونی بیشتر می شود که با غلبه بر نیروی وزن، ذرات داخل سیال معلق باقی مانده و مشکلات سایش و انسداد مجاری نیز برطرف می شود.

۲-۱ تعریف نانوسیال

نانوسیال یک سیال چند جزئی است که از معلق ساختن ذرات فلزی و غیر فلزی در مقیاس نانو در سیال پایه تولید می شود. نانوسیالات به وسیله منتشر کردن و پخش ذرات جامد در اندازه های نانومتری (کمتر از ۱۰۰ نانومتر) در سیالات انتقال دهنده حرارت، به دلیل افزایش هدایت گرمایی و بهبود عملکرد انتقال حرارت، تولید می شوند. با توسعه در تکنولوژی نانو، در سال ۱۹۹۳ برای اولین بار ماسودا^۱ و همکاران [۴] نانو ذرات را در سیالات مرسوم انتقال حرارت مانند آب، اتیلن گلیکول و روغن موتور استفاده کردند و بعد از آن در سال ۱۹۹۵ چوی^۲ [۵] مفهوم نانوسیال را به عنوان محیط جدید انتقال حرارت بیان نمود.

با توجه به افزایش انتقال حرارت مطلوب نانوسیالات با اضافه کردن حتی مقدار بسیار کمی از نانو ذرات به سیال پایه، بعد از پخش یکنواخت و تعلیق پایدار داخل سیال، این موضوع به یکی از مهم ترین مباحث در زمینه انتقال حرارت تبدیل شده است. با ملاحظه شکل (۲-۱)، دانشمندان و مهندسان بسیاری در این زمینه طی چندین سال اخیر تحقیق کرده اند که کشور ما هم در این زمینه رشد محسوسی داشته است.



شکل ۲-۱: تعداد مقالات چاپ شده در زمینه نانوسیالات در کشورهای مختلف

^۱ Masuuda

^۲ Choi

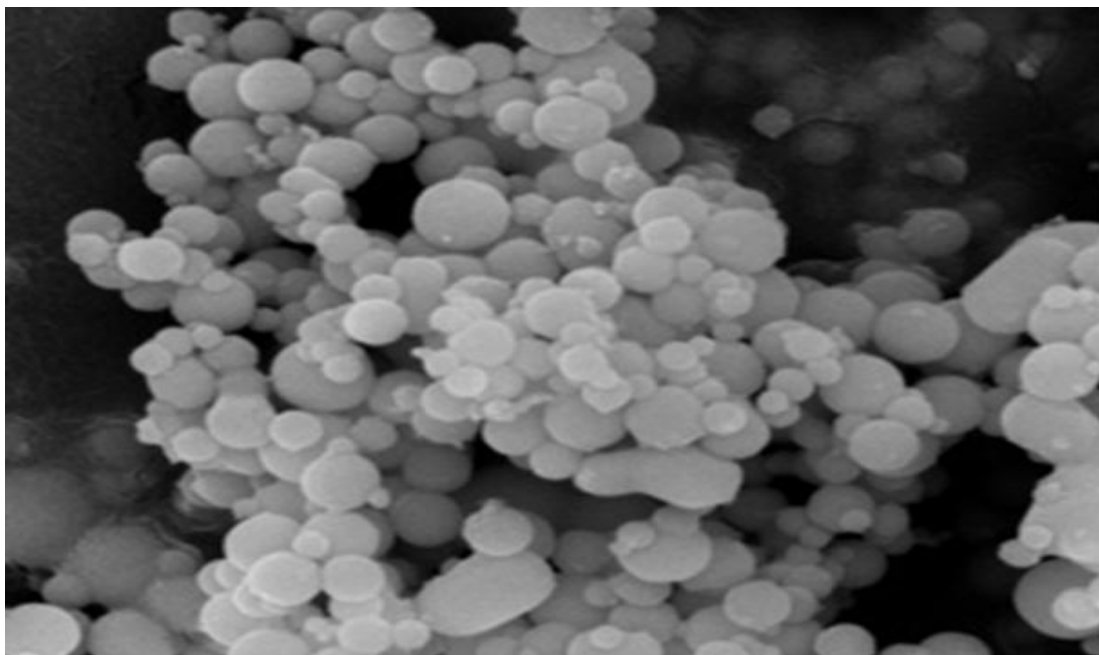
اضافه کردن نانو ذرات به سیال پایه به دلایل زیر باعث افزایش انتقال حرارت می شود [۶ و ۷ و ۸ و ۹]:

۱- اضافه کردن نانو ذرات به سیال پایه باعث افزایش سطح انتقال حرارت شده و با توجه به این که انتقال حرارت در نانو سیالات روی سطوح ذرات انجام می شود، این امر باعث افزایش انتقال حرارت خواهد شد.

۲- اضافه نمودن نانو ذرات به سیال پایه باعث افزایش توربولانس و اختلاط جریان سیال می شود.

۳- برخورد و کنش متقابل بین ذرات سیال و سطوح انتقال حرارت با اضافه نمودن نانو ذرات افزایش می یابد.

۴- هرگاه نانو ذرات به خوبی در نانوسیال پخش شوند، تغییر دمای سیال را تغییر می دهند و در نتیجه ضخامت لایه مرزی حرارتی کاهش یافته و طول توسعه یافتگی افزایش می یابد که منجر به افزایش انتقال حرارت می شود.



شکل ۱-۳: نانوسیال Al_2O_3 با قطر نانوذرات ۸۰ نانومتر