دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی
گروه مکانیک

پایان نامه
به منظور اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

عنوان:

مطالعه تجربی تأثیر قطر نانوذرات بر انتقال حرارت نانوسیال آب - اکسید تیتانیوم

استاد راهنما:
دکتر علی اکبر عباسیان آرانی

استاد مشاور:
دکتر علی عارف منش

به وسیله:
جعفر امانی

بهمن ماه 1390

بسمه تعالی

تاریخ:
شماره:
پیوست:

دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صورتجلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

نام و نام خانوادگی دانشجو : جعفر امانی **شماره دانشجویی:** ۸۸۱۳۵۳۶۰۱۴

رشته : مهندسی مکانیک **دانشکده :** مهندسی

عنوان پایان نامه : مطالعه تجربی تاثیر قطر نانو ذرات بر انتقال حرارت نانو سیال آب –اکسید تیتانیوم

تعداد واحد پایان نامه : ۶ واحد **تاریخ دفاع :** ۹۰/۱۱/۹

این پایان‌نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیتهای تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارایه می‌گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ ۹۰/۱۱/۹ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و با نمره ۲۰/ بیست و درجه عالی به تصویب رسید.

اعضاء هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱. استاد راهنما	دکتر علی اکبر عباسیان	استادیار	
۲. استاد مشاور	دکتر علی عارف منش	دانشیار	
۳.متخصص وصاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر قنبر علی شیخ زاده	دانشیار	
٤.متخصص وصاحب نظر از داخل دانشگاه	دکتر حسین خراسانی زاده	استادیار	
۵. ناظر تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر علی اکبر عبدالله زاده	استادیار	

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه
دکتر ابراهیم نعمتی لای

آدرس: کاشان-بلوار قطب راوندی
کدپستی ۸۷۳۱۷-۵۱۱۶۷
تلفن ۵۵۵۹۱۳۰-دورنگار ۵۵۵۹۱۳۰
http: www.kashanu.ac.ir

تقدیم به:

تمامی پویندگان علم و معرفت

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت به ما عطا فرمود. در اینجا برخود لازم می‌دانم از زحمات پدر و مادر گرامی‌ام یاد کرده و از آنها تشکر نمایم. همچنین 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، تشکر می‌نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر علی اکبر عباسیان آرانی که راهنمایی اینجانب در انجام تحقیق، پژوهش و نگارش این پایان‌نامه را تقبل نموده‌اند نهایت تشکر و سپاسگزاری را دارم.

از آقای دکتر علی عارف منش از اساتید برجسته گروه مکانیک بعنوان مشاور و آقایان دکتر مسعود صلواتی نیاسری و دکتر مسعود همدانیان از اساتید محترم گروه شیمی که خالصانه با راهنمایی‌های خود مرا مورد لطف قرار داده‌اند کمال تشکر را دارم.

از تشریک مساعی آقای دکتر حسین خراسانی‌زاده و آقای دکتر قنبرعلی شیخ‌زاده بعنوان اساتید داور که این پایان‌نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاعیه شرکت نموده‌اند تشکر و تقدیر می‌نمایم. از نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه که قبول زحمت نموده‌اند نیز سپاسگزاری می‌نمایم.

چکیده

در این پروژه به بررسی تجربی تأثیر قطر نانوذرات بر مشخصه‌های انتقال حرارت و افت فشار نانوسیال آب-اکسید تیتانیوم در کسرهای حجمی بین 0/002 و 0/02 در جریان مغشوش پرداخته شده است. بدین منظور از نانوذرات اکسید تیتانیوم با قطرهای متوسط 10، 20، 30 و 50 نانومتر برای تهیه نانوسیال استفاده گردیده است. برای انجام آزمایش‌ها دستگاهی به صورت مبدل دو لوله‌ای هم مرکز که دو جریان با جهت مخالف در آن ایجاد می‌شود، طراحی و ساخته شد. برای آن دسته از خواص ترموفیزیکی نانوسیال که امکان اندازه گیری وجود نداشته است از روابط موجود برای محاسبه متغیرهای مورد نظر استفاده شد. همچنین تأثیر روابط مختلف در محاسبه ضریب هدایت حرارتی نانوسیال بر عدد ناسلت متوسط مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که عدد ناسلت متوسط و افت فشار نانوسیال با افزایش کسر حجمی نانوسیال و عدد رینولدز افزایش می‌یابند. همچنین نانوسیال در تمامی کسرهای حجمی و قطرهای مختلف مورد آزمایش مقادیر ناسلت متوسط و افت فشار بیشتری نسبت به آب دارد. افت فشار نانوسیال در کسرهای حجمی کوچک نزدیک به افت فشار آب می‌باشد. ضریب انتقال حرارت جابجایی، عدد ناسلت متوسط و افت فشار نانوسیال با تغییر قطر نانوذرات در کسرهای حجمی 0/002 و 0/005 تغییری نمی‌کنند. اما در کسرهای حجمی بالاتر و بازه خاصی از اعداد رینولدز، ضریب انتقال حرارت جابجایی، عدد ناسلت متوسط و افت فشار نانوسیال با کاهش اندازه نانوذرات از 50 نانومتر تا 20 نانومتر افزایش می‌یابند. عدد ناسلت متوسط با کاهش بیشتر قطر نانوذرات از 20 نانومتر به 10 نانومتر، کاهش خواهد یافت اما همچنان افزایش در افت فشار نانوسیال با کاهش قطر نانوذرات از 20 نانومتر به 10 نانومتر مشاهده می‌شود. عدد ناسلت متوسط نانوسیال بسته به عدد رینولدز و نوع رابطه بکار رفته برای محاسبه ضریب رسانندگی حرارتی نانوسیال می‌تواند تغییر کرده و یا بدون تغییر بماند.

کلمات کلیدی: مطالعه تجربی، نانوسیال آب-اکسید تیتانیوم، قطر نانوذرات، عدد ناسلت، افت فشار

فهرست

فصل اول- مقدمه ای بر نانوسیال

1-1 مقدمه 2
1-2 کاربردهای نانوسیال در زمینه انتقال حرارت..... 3

فصل دوم- آماده سازی نانوسیال

2-1 مقدمه 7
2-2 نحوه تولید نانوسیال 7
2-2-1 روش دو مرحله ای 8
2-2-2 روش تک مرحله ای 9
2-2-3 روش های دیگر ساخت نانوسیال..... 10
2-3 پایداری نانوسیال..... 10
2-3-1 تغییر دهنده های خواص سطحی 11
2-3-2 کنترل میزان اسیدیته (pH)..... 12
2-3-3 ارتعاشات مافوق صوت 12
2-4 سنجش پایداری 13
2-4-1 طیف نورسنجی UV-Vis 13
2-4-2 سنجش پتانسیل زتا 14
2-4-3 عکس برداری از مقدار رسوب کرده..... 14
2-4-4 میکروسکوپ عبور الکترونی (TEM) و میکروسکوپ اسکن الکترونی (SEM)..... 14
2-5 انتقال حرارت نانوسیال..... 14
2-5-1 شکل نانوذرات 15
2-5-2 دما 15
2-5-3 توده ای شدن نانوذرات 16
2-5-4 حرکت براونی نانوذرات 17
2-5-5 اندازه نانوذرات 18
2-5-6 لایه سیال روی سطح نانوذرات 18
2-5-7 مقاومت سطح جامد-مایع 18
2-5-8 ترموفورسیس 19
2-6 جمع بندی..... 19

فصل سوم- محاسبه خواص نانوسیال

3-1 مقدمه 21
3-2 چگالی..... 21
3-3 ظرفیت حرارتی ویژه..... 22
3-4 لزجت دینامیکی 22
3-5 ضریب رسانندگی حرارتی..... 28

فصل چهارم- مطالعات تجربی بر روی انتقال حرارت اجباری نانوسیال

4-1 مقدمه 34
4-2 عدد ناسلت 34
4-3 ضریب اصطکاک 38
4-4 پژوهش های انجام شده 39
4-5 جمع بندی 57

فصل پنجم- معرفی دستگاه و روابط مورد نیاز

5-1 مقدمه 59
5-2 دستگاه آزمایش 60
5-2-1 چرخه نانوسیال 62
5-2-2 چرخه آب داغ 66
5-2-3 چرخه آب سرد 67
5-2-4 واحد سنجش دما 67
5-2-5 واحد سنجش افت فشار 68
5-3 اندازه گیری دبی 69
5-4 تنظیم ها 69
5-4-1 تنظیم استوانه مدرج 69
5-4-2 تنظیم دماسنج 70
5-4-3 تنظیم دستگاه 70
5-4-4 تنظیم دبی سنج 71
5-5 آماده سازی نانوسیال 71
5-6 اسیدیته نانوسیال 76
5-7 روابط بکار رفته 76
5-7-1 خواص نانوسیال 76
5-7-1-1 چگالی 76
5-7-1-2 ظرفیت حرارتی ویژه 77
5-7-1-3 لزجت دینامیکی 77
5-7-1-4 ضریب رسانندگی حرارتی 78
5-7-2 خواص آب مقطر 86
5-7-3 خواص اکسید تیتانیوم 88
5-7-4 عدد ناسلت متوسط 90
5-8 خطاها 93
5-9 عدم قطعیت 94
5-9-1 عدم قطعیت دبی نانوسیال 95
5-9-2 عدم قطعیت دبی آب داغ 96
5-9-3 عدم قطعیت ضریب اصطکاک 96

5-9-4 عدم قطعیت افت فشار 97
5-9-5 عدم قطعیت عدد رینولدز 98
5-9-6 عدم قطعیت عدد ناسلت 99
5-9-6-1 نتایج برای کسرهای حجمی کوچک و بزرگترین عدد رینولدز 100
5-9-6-2 نتایج برای کسرهای حجمی کوچک و کوچکترین عدد رینولدز 103
5-9-6-3 عدم قطعیت عدد ناسلت در کسرهای حجمی بالاتر 104
5-9-7 حداکثر عدم قطعیت ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال 104
5-9-8 عدم قطعیت نسبت افزایش افت فشار نانوسیال 105
5-10 ارزیابی نتایج 106
5-10-1 عدد ناسلت متوسط 106
5-10-2 محاسبه ضریب اصطکاک 109
5-11 تکرارپذیری 110

فصل ششم- نتایج

6-1 مقدمه 112
6-2 توزیع دما 113
6-3 عدد ناسلت متوسط 113
6-4 ضریب اصطکاک 121
6-5 محاسبه عدد ناسلت متوسط با ضرایب رسانندگی حرارتی مختلف 132
6-6 مقایسه با نتایج دیگر محققین 138
6-7 جمع بندی 144
6-8 پیشنهادات 145

فهرست مراجع 146

پیوست 153

فهرست شکل‌ها

شکل (3-1) : مقایسه بین نسبت لزجت دینامیکی نانوسیال به سیال پایه محاسبه شده از طریق روابط مختلف 27
شکل (5-1) : شکل شماتیک دستگاه آزمایش 60
شکل (5-2) : دو نما از دستگاه ساخته شده 61
شکل (5-3) : کنترل کننده ها، تجهیزات اندازه گیری و نمایش دما 68
شکل (5-4) : شکل هندسی مانومتر جیوه ای 69
شکل (5-5) : عکس TEM نانوذرات، (الف) d_p=10 nm، (ب) d_p=20 nm، (پ) d_p=30 nm، (ث) d_p=50 nm 73
شکل (5-6) : نمونه های نانوسیال با کسر حجمی 0/005، قطرهای 10، 20، 30 و 50 نانومتر به ترتیب از چپ به راست 74
شکل (5-7) : نمونه های نانوسیال با قطر 20 نانومتر، کسرهای حجمی 0/002، 0/005، 0/01، 0/015 و 0/02 به ترتیب از راست به چپ 74
شکل (5-8) : نمایی از دستگاه سنجش اسیدیته (pH meter) 76
شکل (5-9) : ضریب رسانندگی حرارتی مواد مختلف از جمله اکسید تیتانیوم [159] 88
شکل (5-10) : نحوه ورود و خروج جریان به قسمت آزمایش 91
شکل (5-11) : عدد ناسلت متوسط آب محاسبه شده با روابط مختلف 107
شکل (5-12) : عدد ناسلت متوسط، الف) دمای آب داغ ^oC 40، ب) دمای آب داغ ^oC 60 108
شکل (5-13) : مقایسه ضریب اصطکاک در دما و دبی های مختلف آب داغ با رابطه کلبروک 109
شکل (5-14) : عدد ناسلت متوسط برای نانوسیال حاوی نانوذرات به قطر 20 نانومتر وکسر حجمی 0/01 در تکرارهای مختلف 110
شکل (6-1) : دمای نقاط مختلف سطح داخلی لوله میانی، (الف) φ=0/002، (ب) φ=0/02 113
شکل (6-2) : عدد ناسلت متوسط بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف، الف) d_p=10 nm، ب) d_p=20 nm، پ) d_p=30 nm، ث) d_p=50 nm 114
شکل (6-3) : عدد ناسلت متوسط بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف به همراه عدم قطعیت، الف) d_p=10 nm، ب) d_p=20 nm، پ) d_p=30 nm، ث) d_p=50 nm 116
شکل (6-4) : عدد ناسلت متوسط نانوسیال بر حسب عدد رینولدز در قطرهای مختلف نانوذرات، (الف) φ=0/002، (ب) φ=0/005، (پ) φ=0/01، (ت) φ=0/015، (ث) φ=0/02 118
شکل (6-5) : ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال بر حسب عدد رینولدز در قطرهای مختلف نانوذرات، (الف) φ=0/002، (ب) φ=0/005، (پ) φ=0/01، (ت) φ=0/015، (ث) φ=0/02 120
شکل (6-6) : ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف، الف) d_p=10 nm، ب) d_p=20 nm، پ) d_p=30 nm، ث) d_p=50 nm 122
شکل (6-7) : ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف نانوسیال با عدم قطعیت، الف) d_p=10 nm، ب) d_p=50 nm 124
شکل (6-8) : افت فشار نانوسیال بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف، الف) d_p=10 nm، ب) d_p=20 nm، پ) d_p=30 nm، ث) d_p=50 nm 126

شکل (6-9) : افت فشار بر حسب عدد رینولدز در کسرهای حجمی مختلف نانوسیال به همراه
عدم قطعیت، الف) d_p=10 nm، ب) d_p=20 nm، پ) d_p=30 nm، ث) d_p=50 nm 127
شکل (6-10) : افت فشار نانوسیال بر حسب عدد رینولدز در قطرهای مختلف نانوذرات،
(الف) φ=0/002، (ب) φ=0/005، (پ) φ=0/01، (ت) φ=0/015، (ث) φ=0/02 129
شکل (6-11) : درصد افزایش افت فشار نانوسیال نسبت به سیال پایه در کسرهای حجمی
مختلف، الف) d_p=10 nm، ب) d_p=20 nm، پ) d_p=30 nm، ث) d_p=50 nm 130
شکل (6-12) : عدد ناسلت متوسط محاسبه شده از روابط مختلف برای نانوذرات با قطر 30
نانومتر، (الف) φ=0/002، (ب) φ=0/005، (پ) φ=0/01، (ت) φ=0/015، (ث) φ=0/02 133
شکل (6-13) : عدد ناسلت متوسط محاسبه شده از روابط مختلف برای قطر 10 نانومتر،
(الف) φ=0/002، (ب) φ=0/005، (پ) φ=0/01، (ت) φ=0/015، (ث) φ=0/02 135
شکل (6-14) : تأثیر روابط مختلف بر عدد ناسلت متوسط نانوسیال با φ=0/02 و قطر نانوذرات
برابر با 10 و 20 نانومتر 136
شکل (6-15) : تأثیر روابط مختلف بر عدد ناسلت متوسط نانوسیال با φ=0/02 و قطر نانوذرات
برابر با 20 و 30 نانومتر 137
شکل (6-16) : عدد ناسلت متوسط در تحقیق حاضر و نتایج دوسانسوک و ونگویسز [115]،
d_p=20 nm 139
شکل (6-17) : ضریب اصطکاک در تحقیق حاضر و نتایج دوسانسوک و ونگویسز [115]..... 140
شکل (6-18) : عدد ناسلت متوسط تحقیق حاضر و نتایج سجادی و کاظمی [142] 142

فهرست جدول‌ها

جدول (2-1) : مشخصات برخی نانوذرات و سیالات[5] 8
جدول (3-1) : روابط مختلف ارائه شده برای محاسبه لزجت دینامیکی نانوسیال 24
جدول (3-2) : روابط مختلف ارائه شده برای محاسبه ضریب رسانندگی حرارتی نانوسیال 29
جدول (5-1) : مشخصات نانوذرات اکسید تیتانیوم با قطر 10 نانومتر 75
جدول (5-2) : مشخصات نانوذرات اکسید تیتانیوم با قطر 20 نانومتر 75
جدول (5-3) : مشخصات نانوذرات اکسید تیتانیوم با قطر 30 نانومتر 75
جدول (5-4) : مشخصات نانوذرات اکسید تیتانیوم با قطر 50 نانومتر 75
جدول (5-5) : لزجت دینامیکی و ضریب رسانندگی حرارتی آب بر حسب دما [112] 87
جدول (5-6) : ظرفیت حرارتی ویژه اکسید تیتانیوم ساختارهای آناتاز و روتیل..... 90
جدول (6-1) : کمترین و بیشترین درصد افزایش عدد ناسلت متوسط نانوسیال حاوی نانوذرات
با قطرهای 10 و 50 نانومتر نسبت به آب مقطر 115
جدول (6-2) : کمترین و بیشترین درصد افزایش ضریب اصطکاک نانوسیال حاوی نانوذرات با
قطرهای 10 و 50 نانومتر نسبت به آب مقطر..... 123

فهرست علائم و اختصارات (Abreviations)

A_p	سطح جانبی لوله، (m^2)
c_p	ظرفیت حرارتی ویژه $(J/kg\ K)$
d_p	قطر نانوذرات، (nm)
D_i	قطر داخلی لوله، (m)
f	ضریب اصطکاک
g	شتاب گرانش زمین، (m/s^2)
$\overline{h}$	ضریب انتقال حرارت جابجایی متوسط، $(W/m^2\ K)$
k	ضریب رسانندگی حرارتی، $(W/m\ K)$
L	طول قسمت آزمایش، (m)
L_1	اختلاف ارتفاع دو ستون جیوه، (m)
L_2	طول لوله مربوط به اندازه‌گیری افت فشار، (m)
$\dot{m}$	دبی جرمی، (kg/s)
$\overline{Nu}$	عدد ناسلت متوسط، $(\overline{h}D_i / k)$
p	فشار، (pa)
Pr	عدد پرانتل، (υ/α)
Q	دبی حجمی، (m^3/s)
$\dot{Q}$	نرخ انتقال حرارت ، (W)
Re	عدد رینولدز
t	زمان، (s)
$\overline{T}_w$	میانگین دماهای جداره داخلی لوله، (K)
u_m	سرعت متوسط، (m/s)
$\mathbb{V}$	حجم سیال، (m^3)
V	درصد تغییرات عامل مشخص مربوط به نانوسیال نسبت به سیال پایه

حروف یونانی

α	پخش حرارتی، (m^2/s)
δ	عدم قطعیت
μ	لزجت دینامیکی، (kg/ms)
ρ	چگالی، (kg/m^3)
φ	کسر حجمی نانوسیال

زیرنویس‌ها

f	سیال
in	ورودی
m	متوسط
nf	نانوسیال
out	خروجی
p	نانوذرات
w	مربوط به آب داغ

فصل اول - مقدمه ای بر نانوسیال

۱-۱ مقدمه

فناوری نانو در ادغام سه خط فکری فیزیک اتمی، شیمی و الکترونیک شکل گرفت. فناوری نانو در سال 1959 توسط برنده‌ی جایزه‌ی نوبل، ریچارد فاینمن در یک سخنرانی فراموش شده تحت عنوان ''در آن پایین فضای بزرگی وجود دارد'' معرفی شد. او پیش بینی کرد که روزی خواهد رسید که تمام محتویات کتب کتابخانه‌های بزرگ دنیا را بتوان درون فضایی به اندازه یک ذره غبار جا داد.

هرچند نانوفناوری به دهه‌ی 1950 بر می‌گردد، مهمترین تحولات در این زمینه در چند سال اخیر و در دهه گذشته رخ داده است و مطالعات گسترده‌ای در چند سال گذشته انجام شده است. نانوفناوری شاخه‌های متعددی را در علوم و صنایع مختلف از جمله پزشکی، فیزیک، شیمی، انرژی‌های نو، هوانوردی، نساجی، پالایشگاهی، غذایی و ... شامل می‌شود. یکی از کاربردهای مهم نانوفناوری در زمینه انرژی، ایجاد سیالاتی برای افزایش نرخ انتقال حرارت و افزایش بازده حرارتی می‌باشد.

درحالت کلی، قابلیت انتقال حرارت سیالات معمولی به دلیل خواص حرارتی ضعیف در مقایسه با بسیاری از جامدات همانند غیر فلزات و پلیمرها و مخصوصاً فلزات پایین می‌باشد. بر اساس نیاز صنعت روش‌های مختلفی برای افزایش نرخ انتقال حرارت بکار گرفته می‌شود. اما همچنان تحقیق و پژوهش درباره افزایش انتقال حرارت سیالات از اهمیت بالایی برخوردار بوده و در سالهای اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. بگونه‌ای که برخی به نوعی سعی در معرفی یک نوع جدید از سیالات با خواص حرارتی بهبود یافته دارند. مطالعاتی که برای پیشرفت در زمینه انتقال حرارت صورت می‌گیرد به طور کلی باید با دو عامل مهم اندازه تجهیزات و مقدار انتقال حرارت مقابله نماید.

طبق رابطه ساده $Q = hA\Delta T$، انتقال حرارت در حالت کلی به اختلاف دما، سطح مقطع انتقال حرارت و ضریب انتقال حرارت جابجایی وابسته است. اختلاف دما به شدت به نوع ماده عامل حرارت و فرایند انتقال حرارت وابسته است و نمی‌تواند از مقدار مجازی بیشتر شود. برای مثال دما در یک راکتور هسته‌ای باید از مقدار مشخصی بیشتر نشود زیرا امکان آلوده شدن اجزای خارج از راکتور، ذوب و انفجار وجود دارد. لذا تنها با کاهش دمای مایع خنک کننده می-توان انتقال حرارت را افزایش داد اما این پدیده نیز منجر به کاهش فعالیت‌های هسته‌ای و در نتیجه کاهش بازده راکتور می‌شود [1]. افزایش سطح انتقال حرارت از روش‌های عمده برای

افزایش انتقال حرارت می‌باشد. این راه حل در رادیاتورها، دیگ‌ها، بویلرها و دیگر تجهیزات صنعتی استفاده می‌شود اما نمی‌توان چنین راهکاری را برای میکروپردازنده‌ها و سیستم‌های میکروالکترومکانیک (MEMS) بکار گرفت. با استفاده از چنین راهکاری، ابعاد، اندازه و وزن مبدل‌های حرارتی افزایش می‌یابد. این پدیده در بسیاری موارد مطلوب نمی‌باشد. یکی دیگر از راه‌های افزایش انتقال حرارت، افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی است. طرق مختلفی برای افزایش این ضریب وجود دارد. برای مثال انتقال حرارت یک جریان اجباری بسیار بیشتر از انتقال حرارت جریان طبیعی می‌باشد.

معلق کردن ذرات جامد بسیار کوچک در سیالات یکی از روش‌های نه چندان جدید به منظور بهبود کارایی حرارتی سیال می‌باشد. در مطالعات اولیه هر چند افزودن ذرات جامد با ابعاد میلیمتر و یا میکرومتر منجر به افزایش غیرعادی خواص حرارتی سیال همانند ضریب رسانندگی حرارتی می‌شد اما مشکلاتی همچون پایداری ضعیف، فرسایش[1] تجهیزات و خطوط انتقال، بسته شدن[2] خطوط لوله و افت فشار بسیار بالا را ایجاد می‌کرد[2]. بنابراین اگر چه وجود ذرات جامد با چنین ابعادی انتقال حرارت را افزایش می‌دهد اما به دلیل ته نشین شدن در خطوط لوله و تجهیزات، کاربرد آنها در موارد عملی امکان پذیر نمی‌باشد. اندکی بیش از یک دهه پیش با توسعه سریع نانوفناوری، ذراتی در مقیاس نانومتر (بین 1 تا 100 نانومتر) ساخته و بجای ذرات با ابعاد میکرومتر در سیالات مختلف بکار گرفته شدند. با کوچکتر شدن اندازه ذرات جامد معلق در سیال، ضریب رسانندگی حرارتی بالاتر، پایداری بهتر و افت فشار کمتری نسبت به سیال حاوی ذرات با ابعاد میلیمتر و میکرومتر مشاهده شد.

"نانوسیال" واژه‌ای است که توسط آزمایشگاه ملی آرگون برای توصیف سیال حاوی ذرات معلق با ابعاد نانومتر بکار رفت[3]. نانوسیال را می‌توان در گستره‌ی وسیعی از صنعت، تأسیسات و شاخه‌های مختلف دیگری همانند پزشکی بکار گرفت.

۱-۲ کاربردهای نانوسیال در زمینه انتقال حرارت

از موارد بکارگیری نانوسیال می‌توان به صنعت حمل و نقل که اتومبیل‌ها جزئی از آن هستند اشاره نمود. مخلوط اتیلن گلیکول و آب از جمله سیالاتی می‌باشد که در موتور ماشین‌ها برای خنک‌کاری بکار می‌رود. این مخلوط انتقال حرارت کمتری نسبت به آب دارد. نرخ انتقال

[1] Erosion
[2] Clogging

حرارت روغن ماشین نیز کمتر از مخلوط آب و اتیلن گلیکول می‌باشد. با بکار بردن نانوسیال بجای سیال معمول در موتورهای ماشین می‌توان نرخ انتقال حرارت را افزایش داد و یا به ابعاد کوچکتری برای سیستم خنک کننده و مقدار دبی کمتر سیال دست یافت. علاوه بر این می-توان با افزایش نرخ انتقال حرارت از موتور ماشین به محیط، بازده موتور را افزایش داد و در نهایت منجر به کاهش مصرف سوخت شد. ضمن اینکه امکان طراحی موتورها با قدرت بیشتر برای شرایط آب و هوایی مختلف فراهم خواهد شد. استفاده از نانوسیالات مختلف به عنوان روغن به منظور کاهش اصطکاک و افزایش بار قابل تحمل توسط یاتاقان‌ها توسط محققین در حال بررسی است.

در چندین سال گذشته توان حرارتی ایجاد شده توسط میکروپردازنده‌ها در زمینه الکترونیک افزایش چشمگیری داشته است. به دلیل رشد و توسعه سریع تکنولوژی، تجهیزات الکترونیکی حرارت بیشتری ایجاد می‌کنند که این مقدار منجر به تغییر کارایی، عمر مفید و اعتماد پذیری قطعات الکترونیکی می‌شود.

نقشه راه بین المللی فناوری برای نیمه هادی‌ها[1] نشان داده است که در سال 2018 مدارات مجتمع بیش از 9/8 بیلیون ترانزیستور[2] بر روی سطح یک تراشه به مساحت 280 میلیمتر مربع خواهند داشت. این مقدار بیش از 40 برابر بسیاری از پردازنده‌های فعلی می‌باشد. پردازنده‌هایی که در آینده خواهند آمد توان مصرفی بین 100 تا 300 وات بر سانتیمتر مربع خواهند داشت. روش‌های مختلفی همانند خنک‌کاری به کمک مایعات و سرمایش دو فازی برای افزایش نرخ انتقال حرارت در این تجهیزات صورت گرفته است[4]. بکارگیری نانوسیال در این زمینه می‌تواند کمک شایانی به طراحان کند.

برخی از تجهیزات و سیستم‌های دفاعی، شار حرارتی بالایی از مرتبه مگاوات به ازای واحد سطح دارند. در این سطح از توان مصرف شده، خنک‌کاری تجهیزات دفاعی از موضوعات چالش بر انگیز است. افزایش شار حرارتی بحرانی[3] (CHF) در تجهیزات فضایی و نیروگاه‌های هسته‌ای، کاهش ابعاد و وزن تجهیزات بکار رفته در صنایع دفاعی از دیگر مزایای بکارگیری نانوسیال می‌باشد.

[1] International Technology Roadmap for Semiconductors
[2] Tranisitor
[3] Critical heat flux

نانوسیال می‌تواند برای خنک کردن تجهیزات جوشکاری و تجهیزات با شارحرارتی بالا، دیودهای لیزر توان بالا، ماشینکاری، برشکاری و کلکتورهای خورشیدی نیز بکار گرفته شود[5،6]. مطالعه بر روی استفاده از نانوذرات طلا، نانولوله‌های کربنی، اکسید تیتانیوم و اکسید مس در مبردهایی همانند R141b، R123، R134a و R113 توسط محققین در سالهای بعد از 2007 صورت گرفته است[12-7].

با افزایش نرخ انتقال حرارت به کمک نانوسیال می‌توان تجهیزات جدید را بر مبنای استفاده از نانوسیال طراحی نمود. استفاده از نانوسیال در تجهیزات گرمایشی و سرمایشی منجر به کاهش ابعاد، وزن، زمان کارکرد و در نتیجه کاهش انرژی مصرف شده می‌شود. گفته شده است که اگر نانوسیال بازده چیلرها را تنها 1% بهبود بخشد، سالیانه به مقدار 320 بیلیون کیلووات ساعت برق فقط در کشور ایالات متحده امریکا صرفه جویی می‌شود[5].

از آنجایی که نانوسیال می‌تواند به عنوان راه حلی در صنایع نظامی، هسته‌ای، الکترونیک، هوا و فضا، تأسیسات و ... برای افزایش نرخ انتقال حرارت که خود مزایای متعددی را به دنبال خواهد داشت، مطرح شود لذا نیاز به مطالعه در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. مطالعات مختلفی در زمینه‌های ذکر شده صورت گرفته است اما همچنان نیاز به آزمایش‌های بیشتر برای رفع ابهامات و یا دست یافتن به نکات جدید ضروری به نظر می‌رسد. همانطور که ذکر شد، فناوری نانو مربوط به دهه‌های قبل بوده اما بیشترین پیشرفت خود را در دهه گذشته و مخصوصاً در چند سال اخیر داشته است. ساخت نانوذرات در قطرهای مختلف از جمله مواردی است که نیاز به فناوری پیشرفته دارد. علاوه بر آن، ساخت نانوذرات با قطرهای کوچکتر و جدا کردن آنها از دیگر قطرها جدا از بحث فناوری، بسیار پر هزینه می‌باشد. لذا در مورد انتقال حرارت و افت فشار نانوسیال این سوال مطرح می‌شود که نیاز به کاهش اندازه و قطر نانوذرات تا چه موقع وجود دارد؟ اگر نانوذرات با قطر کوچکتر مزایای ویژه‌ای دارند، دانشمندان وقت و هزینه‌ی خود را صرف مطالعه بر روی نانوسیال با قطرهای کوچکتر نانوذرات کنند و اگر چنین نیست، تمرکز بر روی نانوسیالات موجود و تحقیق در میدان وسیع کاربرد آنها صورت گیرد. در این پروژه سعی شده است تا با انجام آزمایش‌ها و ارائه نتایج، گامی هر چند کوچک در زمینه انتقال حرارت و افت فشار نانوسیال برداشته شود.

فصل دوم - آماده سازی نانوسیال

۲-۱ مقدمه

نانوذرات مختلفی همانند فلزات، اکسید فلزات و نانولوله‌های کربنی می‌توانند برای تهیه نانوسیال استفاده شوند. به دلیل قیمت کم و در دسترس بودن اکسیدهای فلزات، این مواد کاربرد بیشتری در مقایسه با فلزات دارند. نانوسیال به مخلوط ساده نانوذرات و سیال پایه اطلاق نمی‌شود بلکه برای ایجاد کردن نانوسیال نیاز به پراکنده کردن ذرات جامد در بین ذرات مایع می‌باشد. علاوه بر آن نیاز به پایدارسازی نانوسیال می‌باشد. در این فصل سعی شده است تا به صورت اجمالی به بیان برخی روش‌های ساخت و آماده‌سازی نانوسیال پرداخته شود.

۲-۲ نحوه تولید نانوسیال

در جدول (2-1) مشخصات برخی نانوذرات و سیالات ذکر شده است. همانطور که قبلاً بیان شد، نانوسیال به محلول ساده‌ی نانوذرات داخل سیال اطلاق نمی‌شود. مراحل و روش‌های مختلفی برای تهیه نانوسیال وجود دارد. هر روش ویژگی‌های خاص خود را دارد. نحوه آماده سازی نانوسیال پایدار برای داشتن خواص حرارتی بهینه از اهمیت بالایی برخوردار است. نانوسیالات مختلفی با کمک نانوذرات همانند فلزات (Ag, Au, Cu, Fe)، اکسید فلزات (Al_2O_3, CuO)، نیترید سرامیک‌ها (AlN, SiN)، کاربیدهای سرامیکی (SiC, TiC)، نیمه هادی‌ها (TiO_2) و نانولوله‌های کربنی تک جداره[1]، دو جداره[2] و یا چند جداره[3] با و یا بدون فعال‌کننده-های سطحی[4] در سیالات پایه‌ای همچون آب، اتیلن گلیکول و یا روغن می‌توانند ایجاد شوند.

ساخت نانوذرات به دو صورت انجام می‌شود. این دو روش شامل روش فیزیکی و فرایندهای شیمیایی می‌باشد که به ترتیب عموماً با تراش مکانیکی (سمباده زدن یا فرزکاری) و با تکنیک گاز سرد خنثی صورت می‌پذیرند. روش‌های شیمیایی دیگری نیز توسط محققین استفاده و گزارش شده است [3].

[1] SWCNT (Single Wall Carbon Nano Tube)
[2] DWCNT (Double Wall Carbon Nano Tube)
[3] MWCNT (Multi Wall Carbon Nano Tube)
[4] Surfactant