

دانشگاه شاهرود
پایه

ضریب هدایت حرارتی در نانوسیال

مهندس علی اسماعیلی نسب

دکتر مجتبی مروج

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه ملی، که یک واجب دینی است.^۱

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه مطالعه هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

۱. پیام مقام معظم رهبری به مناسبت آغاز هفته کتاب ۷۲/۱۰/۴

سوره‌ای که بر آن فرستاده عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار	نُه
مقدمه	یازده
فهرست علائم و اختصارات	سیزده
فصل اول. معرفی نانوسیال	۱
هدف کلی	۱
هدف‌های یادگیری	۱
۱-۱ تعریف فناوری نانو	۱
۱-۲ اهمیت مقیاس نانو	۲
۱-۳ لزوم استفاده از نانوسیالات	۳
۱-۴ نانوسیالات، محیط جدید انتقال حرارت	۵
۱-۵ اصول خنک‌کنندگی	۶
۱-۶ روش‌های متداول برای افزایش انتقال حرارت	۷
۱-۶-۱ سوسپانسیون‌های جامد- مایع متداول و محدودیت‌های آن‌ها	۷
۱-۶-۲ خنک‌سازی به‌وسیله میکرو کانال‌ها و محدودیت‌های آن‌ها	۷
۱-۷ اصول نانوسیالات	۸
۱-۸ ظهور و توسعه مفهوم نانوسیالات	۹
۱-۹ مزایای استفاده از نانوسیالات	۱۰
۱-۹-۱ بهبود انتقال حرارت و پایداری	۱۰
۱-۹-۲ کاهش گرفتگی و انسداد مجاری	۱۱
۱-۹-۳ کاهش اندازه و هزینه‌های سیستم‌های انتقال حرارت	۱۱

۱۱	۴-۹-۱ اهمیت اندازه نانو.....
۱۳	۱۰-۱ قابلیت هدایت حرارتی نانوسیالات.....
۱۵	۱۱-۱ تهیه نانوسیالات.....
۱۶	۱-۱۱-۱ روش تهیه یک مرحله‌ای.....
۱۶	۲-۱۱-۱ روش تهیه دو مرحله‌ای.....
۱۸	۱۲-۱ پایداری نانوذرات در نانوسیالات.....
۱۸	۱-۱۲-۱ تغییر PH سوسپانسیون.....
۱۸	۲-۱۲-۱ استفاده از فعال‌کننده‌های سطحی و پخش‌کننده‌ها.....
۱۹	۳-۱۲-۱ استفاده از نوسانات ماورای صوت.....
۱۹	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول.....

۲۱	فصل دوم. مدل‌سازی نظری ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات.....
۲۱	هدف کلی.....
۲۱	هدف‌های یادگیری.....
۲۱	۱-۲ مفاهیم کلی.....
۲۲	۲-۲ مدل‌سازی ترکیبی.....
۲۴	۳-۲ مدل‌سازی به روش ماکسول.....
۲۸	۴-۲ مدل‌سازی بروگمن.....
۲۹	۵-۲ مدل‌سازی لوینگا.....
۳۲	۶-۲ مدل وانگ.....
۳۳	۷-۲ روش‌های توزیعی (روش جفري).....
۳۳	۸-۲ روش متداول.....
۳۹	۱-۸-۲ روش فریک (محاسبه هدایت مؤثر براساس شکل ذرات).....
۴۴	۹-۲ مدل ضریب هدایت حرارتی نانوسیال با لایه‌های فصل مشترک.....
۴۷	۱۰-۲ مدل بوچر.....
۵۸	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم.....

۶۱	فصل سوم. دستگاه‌های اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات.....
۶۱	هدف کلی.....
۶۱	هدف‌های یادگیری.....
۶۱	۱-۳ مفاهیم کلی.....
۶۶	۲-۳ اصول اندازه‌گیری هدایت حرارتی نانوسیالات.....
۶۶	۱-۲-۳ روش گذرای سیم داغ.....
۷۲	۲-۲-۳ روش آنالیز ثابت‌های گرمایی.....
۷۴	۳-۲-۳ روش صفحات موازی حالت پایدار.....
۷۶	۴-۲-۳ روش سلول استوانه‌ای.....

۷۸.....	۳-۲-۵ روش نوسان دمایی
۸۱.....	۳-۲-۶ روش 3ω
۸۳.....	۳-۲-۷ روش مقایسه گرمایی
۸۹.....	۳-۲-۸ چیدمان آزمایشگاهی هیلتون
۹۱.....	۳-۳ معرفی دستگاه‌های تهیه نانوسیال و اندازه‌گیری هدایت حرارتی در آزمایشگاه نانوسیال
۹۷.....	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم
۹۹.....	فصل چهارم. اندازه‌گیری تجربی ضریب هدایت حرارتی نانوسیال
۹۹.....	هدف کلی
۹۹.....	هدف‌های یادگیری
۹۹.....	۴-۱ هدایت حرارتی سیستم‌های ناهمگن
۱۰۰.....	۴-۱-۱ هدایت حرارتی پراکنندگی ریز ذره
۱۰۰.....	۴-۲ نانوسیالات
۱۰۱.....	۴-۳ پارامترهای مؤثر بر هدایت حرارتی نانوسیال‌ها
۱۰۲.....	۴-۳-۱ تأثیر کسر حجمی
۱۰۷.....	۴-۳-۲ تأثیر اندازه ذرات
۱۰۹.....	۴-۳-۳ تأثیر دما
۱۱۵.....	۴-۳-۴ تأثیر نسبت α ذره بر هدایت حرارتی سیال
۱۲۰.....	۴-۳-۵ تأثیر جنس سیال پایه
۱۲۰.....	۴-۳-۶ تأثیر بار سطحی ذرات
۱۲۲.....	۴-۳-۷ تأثیر شکل نانوذرات
۱۲۲.....	۴-۳-۸ تأثیر نوع پایدارکننده نانوسیال
۱۲۴.....	۴-۳-۹ تأثیر نوع قرارگیری ذره در سوسپانسیون
۱۲۵.....	۴-۴ دیگر تحقیقات انجام شده در زمینه ضریب هدایت حرارتی نانوسیال
۱۷۰.....	۴-۵ نتایج اندازه‌گیری‌های هدایت حرارتی آکاش واجبی و همکاران
۱۷۲.....	۴-۵-۱ تخمین پارامترها (با محاسبه نمونه)
۱۷۲.....	۴-۵-۲ محاسبه نمونه برای TiO_2
۱۷۲.....	۴-۵-۳ اندازه‌گیری هدایت حرارتی توسط مدل کلاسیک
۱۷۴.....	۴-۵-۴ مقادیر خوانده شده آزمایشی
۱۷۵.....	۴-۵-۵ نانوسیال آب/ ZnO
۱۷۶.....	۴-۵-۶ نانوسیال آب/ Al_2O_3
۱۷۸.....	۴-۶ نتایج اندازه‌گیری‌های هدایت حرارتی واجا و داس
۱۸۴.....	۴-۶-۱ تأثیر اندازه ذرات بر ضریب هدایت حرارتی
۱۸۵.....	۴-۶-۲ توسعه معادله‌های جدید

۱۸۶	 ۴-۶-۳ تطابق با شواهد تجربی
۱۸۸	 ۴-۷ پیشنهادها
۱۹۰	 خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم
۱۹۳	 پاسخنامه
۱۹۵	 منابع

پیشگفتار

یکی از مسائل مهم در استفاده از نانوسیالات خواص انتقال حرارتی آن‌ها مانند ضریب هدایت حرارتی است که موضوع تحقیقات بسیاری در این زمینه بوده است. در کتاب حاضر سعی شده تا گزیده‌ای از این تحقیقات جهت ارائه به دانشجویان و محققین آماده شود.

در فصل اول ضمن معرفی نانوسیال و تعاریف پیرامون آن، خواننده را به اهمیت موضوع و لزوم بررسی جامع ضریب هدایت حرارتی آن‌ها آشنا می‌سازد. فصل دوم کتاب نیز به بررسی مدل‌های نظری و تجربی ارائه شده جهت اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات پرداخته است.

در فصل سوم دستگاه‌های استفاده شده جهت اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات معرفی شده و همچنین بعضاً پایه نظری دستگاه مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل چهارم کتاب که به نوعی مهم‌ترین قسمت کتاب است سعی شده اکثر تحقیقات تجربی انجام شده جهت بررسی ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات ارائه شود. در نهایت در فصل پنجم پیشنهادهایی جهت تحقیقات آینده در زمینه هدایت حرارتی نانوسیالات ارائه شده است.

به هر حال در این کتاب تا آنجا که امکان داشته، سعی بر آن بوده است که نحوه بیان مطالب به گونه‌ای مناسب برای همه گروه از خوانندگان ارائه شود، اگرچه هر کاری

خالی از عیب و نقص نیست اما امید است که خوانندگان گرمی ما را از نظرات و
پیشنهادهای خود محروم نسازند.

مجتبی مروج

Moravej60@Pnu.ac.ir

علی اسماعیلی نسب

Aliesmaele@gmail.com

مقدمه

رشد و گسترش فناوری در سده‌های اخیر باعث دگرگونی دنیای علمی سستی شده و نمای زیباتر و ژرف‌تری از دنیای اطراف را به ما ارائه می‌دهد. کشف ناشناخته‌ها از یکسو و تلفیق داشته‌ها از سوی دیگر در این توسعه نقش‌های کلیدی ایفا می‌کنند. یکی از مفاهیم مهم صنایع بحث انتقال گرما یا حرارت است که به سه صورت، هدایت حرارتی، جابه‌جایی و تشعشع پدیدار می‌شود. در انتقال حرارت هدایت به تماس مستقیم نیاز بوده و در جابه‌جایی گردش و چرخش مواد که معمولاً به عهده موادی واسطه چون سیالات عامل نیاز است و در حالت تابش هم با واسطه و هم بی‌واسطه امکان‌پذیر است. در برخی جاها به افزایش گرما یعنی گرمادهی نیاز بوده و در برخی جاها به کاهش گرما و دما یا گرماگیری نیاز است. لذا با توجه به پیچیدگی صنعت امروزی، در بیشتر اوقات از سیال واسطه و با ترکیبی از سه حالت انتقال حرارتی فوق مواجه می‌شویم. آنچه در این صنایع مهم است افزایش بازدهی و یا به عبارت ساده‌تر افزایش میزان انتقال حرارت است. یکی از مفاهیم توسعه یافته که به نوعی کشف جدید در قرن حاضر است، تلفیق و ترکیب مواد ناقل حرارت مناسب عمده‌تاً فلزات با سیالات واسطه‌ای چون آب است که میزان و نرخ انتقال حرارت را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. این مفهوم نوین به نام نانوسیال معرفی شده است و در کتاب حاضر ضمن ارائه مفاهیم اصولی و بنیادی در خصوص نانوسیال، اختصاصاً به معرفی و ارائه دانش روز در مورد انتقال حرارت هدایتی و ضریب هدایت حرارتی در این مواد می‌پردازد.

علاوه بر ارائه مفاهیم کلی، مدل‌های کاربردی و مثال‌های عینی از دستگاه‌ها و مواد مصرفی نیز تشریح شده است که در رشته‌های مهندسی و علوم و بیشتر در سطح کارشناسی ارشد و دکتری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست علائم و اختصارات

k_e	هدایت حرارتی معادل در نانوسیال
v	اختلاف پتانسیل
σ	تابع توزیع ذرات
Δk	تغییرات ضریب هدایت حرارتی
$n(r)$	توزیع شعاعی خوشه‌ها
ρ	چگالی، حجم بیضی
T	دما
T_o	دمای مرجع
ϕ	زاویه نسبت به صفحه XZ
θ	زاویه نسبت به محور X
R, r	شعاع کره و دایره
h	ضخامت نانولایه
k	ضریب هدایت حرارتی جزء منتشر شونده در نانوسیال
$k_p(r)$	ضریب هدایت حرارتی مؤثر خوشه‌ها
Re	عدد رینولدز

v	غلظت جزء منتشر شونده در نانوسیال
v	غلظت حجمی نانوذرات
d	قطر نانوذرات
X, Y, Z	محورهای مختصات
F	نیرو
k_s	هدایت حرارتی پوسته
k_c	هدایت حرارتی ذره مرکب
k_m	هدایت حرارتی سیال پایه
k_p	هدایت حرارتی نانوذرات
μ	ویسکوزیته

اندیس‌ها

s	پوسته
c	ترکیبی
m, bf	سیال پایه
e	معادل نانوسیال
p	نانوذرات
nf	نانوسیال

فصل اول

معرفی نانو سیال

هدف کلی

آشنایی با مفاهیم نانوذرات و نانو سیال و اصول حاکم بر آن.

هدف های یادگیری

انتظار می رود در پایان این فصل بتوانید:

۱. نانو ذره و نانو سیال را تعریف کنید.
۲. خصوصیات نانو سیال و روش های ساخت آن را تشریح کنید.
۳. مفهوم پایداری در نانو سیال را توضیح دهید.
۴. کاربردهای نانو سیال را بیان کنید.

۱-۱ تعریف فناوری نانو

نانوفناوری^۱، مطالعه کارکرد یک ماده در مقیاس اتمی و مولکولی است. به طور کلی این مبحث به ساختارهای دارای اندازه های بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، حداقل در یک بعد می پردازد و شامل توسعه مواد یا وسایلی است که در آن اندازه، حداقل در یک بعد مورد بررسی قرار می گیرد. در واقع این علم، مهندسی سیستم های عملیاتی در مقیاس مولکولی است. در حالت اصلی، نانوفناوری به توانایی طراحی و ساخت مواد در همه مراحل، با استفاده از روش ها و ابزارهایی که امروزه برای تکمیل کردن محصولات با بازدهی بالا توسعه می یابند، گفته می شود.

یک نانومتر (1 nm) یک بلیونم یا 10^{-9} از یک متر است. طبق مقایسه، طول نمونه پیوند کربن-کربن یا فاصله گذاری بین این اتم‌ها در یک مولکول، در محدوده 0.12 nm – 0.15 nm است و یک DNA با دو مارپیچ دارای قطری در حدود 2 nm است. از سوی دیگر، کوچک‌ترین شکل‌های زندگی سلولی، باکتری‌های دسته میکرو پلاسما در حدود 200 nm طول دارند.

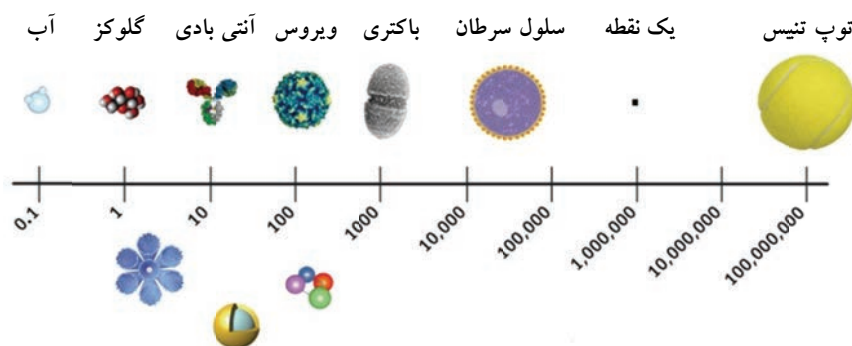
محدوده پایین‌تر از مقیاس نانو توسط اندازه اتم‌ها تنظیم می‌شود (هیدروژن دارای کوچک‌ترین اتم است، که تقریباً یک چهارم نانومتر قطر دارد) زیرا نانوفناوری باید وسایل خود را از اتم‌ها و مولکول‌ها بسازد. محدوده بالاتر کم‌وبیش اختیاری است اما در حدود اندازه‌ای است که پدیده‌هایی که در ساختارهای بزرگ‌تر مشاهده نشده‌اند، شروع به ظاهر شدن می‌کنند و می‌توانند در وسایل نانو مورد استفاده قرار گیرند. این پدیده‌های جدید، نانوفناوری را از وسایلی که منحصراً دارای نسخه‌های کوچک شده‌ای از وسایل معادل میکروسکوپی هستند، متمایز می‌سازند؛ چنین وسایلی در یک مقیاس بزرگ‌تر قرار دارند و تحت توصیف میکرو فناوری ارائه می‌شوند.

یکی از کاربردهای مهم مقیاس نانو، استفاده از ذرات با اندازه نانو درون سیال‌های پایه مرسوم است. استفاده از نانوذرات درون سیال‌های پایه مثل آب و تولید نانوسیال باعث تغییر خواص گرمایی سیال پایه از جمله ضریب هدایت حرارتی ترکیب آن‌ها است. ضریب هدایت حرارتی سیالات مورد استفاده در تجهیزات انتقال حرارتی یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار بوده که همواره به دلیل محدودیت ذاتی این پارامتر برای سیال‌های معمول مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در این کتاب، پیرامون ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات و تأثیر آن بر میزان انتقال حرارت سیال‌های پایه بحث خواهد شد.

۱-۲ اهمیت مقیاس نانو

برای مقایسه یک گلوله قرمز خون تقریباً 7000 nm و یک مولکول آب تقریباً 0.3 nm عرض دارد. درواقع مقیاس، نانومقیاسی است که ما آن را از 100 nm تا اندازه اتم‌ها (تقریباً 0.2 nm) تعریف می‌کنیم، زیرا در این مقیاس، ویژگی‌های مواد می‌توانند بسیار متفاوت از ویژگی‌های مقیاس بزرگ‌تر باشند. همچنین علم نانو را به صورت مطالعه پدیده‌ها و کار کردن با مواد در مقیاس‌های اتمی، مولکولی و ماکرو مولکولی تعریف

می‌کنیم، که در آن ویژگی‌های ماده به‌طور قابل توجهی از ویژگی‌های مقیاس بزرگ‌تر متفاوت هستند؛ بنابراین نانوفناوری‌ها به‌صورت طراحی، تعیین خصوصیات، تولید، کاربرد ساختارها، وسایل و سیستم‌ها با کنترل شکل و اندازه در مقیاس نانو هستند. در برخی از حالت‌ها، علم نانو و نانوفناوری‌ها جدید نیستند. شیمی‌دان‌ها پلیمرهایی را ساخته‌اند که دارای مولکول‌های بزرگی بوده و از زیر واحدهایی در مقیاس نانو تشکیل شده‌اند و در ۲۰ سال گذشته، نانوفناوری‌ها برای ایجاد ویژگی‌های بسیار کوچک در تراشه‌های کامپیوتری مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱ و ۲]. این پیشرفت‌ها در ابزارهایی که اکنون به اتم‌ها و مولکول‌ها اجازه می‌دهد مورد آزمایش قرار گیرند و با دقت زیاد دنبال شوند، امکان توسعه و بسط علم نانو و نانوفناوری‌ها را فراهم آورده است.



شکل ۱-۱. تخمین اندازه نانو (nm) [۵-۱].

۳-۱ لزوم استفاده از نانوسیالات

بزرگ‌تر بودن ΔT (اختلاف درجه حرارت) باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود، اما اغلب توسط فرایند یا مواد بازدارنده محدود می‌شود. مثلاً برای جلوگیری از واکنش گریز و خام شدن (آب شدن)، حداکثر دما در راکتورهای هسته‌ای باید زیر مقدار معین نگه داشته شود؛ بنابراین افزایش ΔT فقط از طریق کاهش دمای ماده خنک‌کننده حاصل می‌شود. با این وجود این عمل، کاهش میزان واکنش هسته‌ای و کاهش راندمان (بازده) فرایند را به دنبال دارد.

افزایش سطح انتقال حرارت A روشی معمول برای اصلاح انتقال حرارت است و بسیاری از مبدل‌های گرمایی مثل رادیاتورها و صفحه و بدنه مبدل‌های گرمایی برای

بیشترین افزایش سطح انتقال حرارت طراحی شده‌اند. در این صورت، این روش در سیستم‌های ریزپردازنده‌ها و میکرو الکترومکانیک به علت عدم قابلیت افزایش سطوح نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در هوافضا و سیستم خودروها، تنها از طریق افزایش اندازه می‌توان سطح انتقال حرارت را بیشتر کرد که این امر باعث افزایش غیرضروری در وزن خواهد شد.

علاوه بر این از طریق افزایش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی h و نیز استفاده از روش‌های انتقال حرارت مؤثرتر یا از طریق اصلاح خواص مواد ناقل گرما می‌توان به اصطلاحات انتقال حرارت دست یافت. به‌عنوان مثال سیستم‌های انتقال حرارتی که از وزش اجباری گاز استفاده می‌کنند نسبت به سیستم‌هایی که وزش آزاد گاز را به‌کار می‌گیرند، ضریب انتقال حرارتی بالاتری را ارائه می‌دهند. همچنین می‌توان با بالا بردن خواص خنک‌کننده‌ها از طریق یکی از روش‌های انتقال حرارت ارائه شده، ضریب انتقال حرارت را افزایش داد. برای اصلاح خواص معین، افزایشنده‌ها اغلب به خنک‌کننده‌های مایع اضافه می‌شوند. به‌عنوان مثال برای پایین آمدن (کاهش) نقطه انجماد و بالا بردن (افزایش) نقطه جوش آب به آن، گلیکول‌ها اضافه می‌شود. به‌واسطه ترکیب ذرات جامد با خنک‌کننده مایع می‌توان ضریب انتقال حرارت را اصلاح کرد. در جریان یکنواخت در طول یک لوله ضریب انتقال حرارت h از عدد ناسلت Nu از طریق همبستگی تیت و سایدر [۱] به‌دست می‌آید.

$$Nu = \frac{hD}{k} = 1.86 \left(\text{Re} \text{Pr} \frac{D}{L} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_0} \right)^{0.14} \quad (1-1)$$

در اینجا D قطر لوله، K رسانایی گرمایی سیال، Re عدد رینولدز، Pr عدد پرانتل و L طول لوله است. به ترتیب گرانروی سیال در دمای حجمی و دمای دیواری است. رابطه (۱-۱) ارتباط بین ضریب انتقال حرارت و رسانایی گرمایی سردکننده را نشان می‌دهد. افزایش رسانایی گرمایی با افزایش ضریب انتقال حرارت رابطه مستقیم دارد؛ تعجب‌آور نیست که نانوسیال‌ها زمانی که افزایش انتقال حرارت را نشان می‌دهند، افزایش رسانایی گرمایی را نیز نشان دهند.

با اضافه کردن مایع با رسانایی گرمایی بیشتر یا جامداتی که ذاتاً رسانایی گرمایی بیشتری نسبت به مایعات دارند، می‌توان رسانایی گرمایی یک خنک‌کننده مایع را افزایش داد.

یکی از روش‌های افزایش میزان انتقال حرارت، استفاده از سطوح گسترده مثل کانال‌ها و پره‌ها است که در طرح‌های فعلی بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد؛ بنابراین نیاز حیاتی در مفاهیم جدید برای به دست آوردن خنک‌سازی با بازدهی بالا وجود دارد. در سال‌های اخیر نانو سیالات برای حل مشکلات خنک‌سازی و افزایش میزان انتقال حرارت معرفی شده‌اند.

۱-۴ نانو سیالات، محیط جدید انتقال حرارت

خنک‌سازی با راندمان بالا، یکی از ضروری‌ترین نیازها در بسیاری از فناوری‌های صنعتی است. یکی از محدودیت‌های ذاتی سیالات مرسوم، قابلیت هدایت حرارتی پایین آن‌ها بوده که مشکلی اساسی در توسعه سیالات برای خنک‌سازی با راندمان بالا است.

نانوفناوری‌های مدرن می‌توانند ذرات فلزی و یا غیرفلزی در ابعاد نانومتر را تولید کنند. نانومواد دارای ویژگی‌های مکانیکی، نوری، الکتریکی، مغناطیسی و گرمایی منحصر به فردی هستند. نانو سیالات توسط ذرات نانو معلق با میانگین اندازه‌های زیر ۱۰۰ nm در سیالات متداول و مرسوم مثل آب، روغن و اتیلن گلیکول تهیه می‌شوند. یک مقدار بسیار کوچک از نانوذرات، زمانی که به‌طور یکنواخت پراکنده می‌شوند و در سیالات پایه به‌طور پایدار معلق می‌شوند، می‌توانند پیشرفت‌های قابل توجهی را در ویژگی‌های گرمایی سیالات پایه فراهم آورند. نانو سیالات (سوسپانسیون‌های ذرات نانو و سیال پایه) عبارتی است که توسط چوی برای توصیف این طبقه جدید از سیالات انتقال حرارتی براساس نانوفناوری ابداع شد. این نوع سیالات جدید ویژگی‌های گرمایی فوق‌العاده‌ای را نسبت به سوسپانسیون‌های سیال و ذرات متداول نشان می‌دهد. فناوری نانو سیال، یک زمینه میان رشته‌ای با اهمیت زیاد است که در علم نانو، نانوفناوری و شرایط مهندسی گرمایی به‌طور گسترده در دهه گذشته توسعه یافته است. هدف از نانو سیالات، رسیدن به بالاترین ویژگی‌های گرمایی احتمالی، در پایین‌ترین غلظت‌های احتمالی (ترجیحاً $< 1\%$ حجم) با پراکندگی یکنواخت و سوسپانسیون پایدار ذرات نانو در سیالات پایه (ترجیحاً $< 10\text{ nm}$) است. برای رسیدن به این هدف، درک و شناخت چگونگی افزایش انتقال انرژی ذرات نانو در سیالات لازم و ضروری است.

نانوسیالات جدیدترین روش در بیش از یک قرن از تحقیقات، برای بهبود قابلیت هدایت حرارتی مایعات است. قابلیت گرمایی پایین سیالات متداول ناقل گرما (HTF) محدودیتی بزرگ در بهبود کارایی و متراکم بودن تجهیزات مهندسی است. چیزی که با اندازه ذرات میلی متری تا میکرومتری در اواخر قرن نوزدهم آغاز شده بود به بخشی از خطرات احتمالی مدرن در حوزه بسیار کوچک در دنیای نانوذرات تبدیل شده است [۱]. برخلاف سیال‌های انتقال حرارتی حاوی ذرات میکرو، نانوسیالات پایدار بوده و همچنین رقیق هستند. کلید موفقیت این مواد به عنوان سیال‌های ناقل گرما، برهم‌کنش بین مواد جامد و مایع از طریق مکانیزم‌هایی پیچیده است.

۱-۵ اصول خنک‌کنندگی

خنک‌سازی برای حفظ راندمان مطلوب و قابلیت اطمینان انواع گسترده‌ای از محصولات، از جمله رایانه‌ها، وسایل الکترونیکی، موتور خودروها و لیزرهای دارای قدرت بالا یا اشعه X لازم و ضروری است. افزایش بی‌سابقه بار گرمایی (که در برخی از مواد از 25 kw تجاوز می‌کند) و شارهای گرمایی (که در برخی از مواد از 2000 w/cm^2 تجاوز می‌کند) با توان بیشتر یا ویژگی‌های کوچک‌تر برای این محصولات به وجود می‌آید. خنک‌سازی یکی از مباحث فنی پیچیده فناوری‌های پیشرفته از جمله میکروالکترونیک، حمل‌ونقل، ساخت‌وساز و علم اندازه‌گیری و صنایع دفاعی است.

در سال‌های اخیر فناوری‌های خنک‌سازی سیالات تک فاز از جمله سینک گرمایی به وسیله میکرو کانال‌ها و تکنولوژی‌های خنک‌سازی مایعات دو فاز از جمله لوله‌های گرمایی و ترموسیفون‌ها و همچنین خنک‌سازی مستقیم به صورت غوطه‌وری و خنک‌سازی با اسپری برای خنک کردن سطح تراشه‌ها یا بسته‌ها به وجود آمده‌اند. تکنولوژی نانوسیالات، پتانسیل عظیمی را برای توسعه بیشتر تجهیزات خنک‌سازی با راندمان بالا، متراکم و مقرون به صرفه ارائه می‌کند.

در صنعت حمل‌ونقل، خنک‌سازی یک موضوع بحرانی است، زیرا این روند در جهت قدرت موتور بیشتر و تنظیم گاز خروجی یا در وسایل نقلیه ترکیبی، به طور اجتناب‌ناپذیری منجر به ایجاد رادیاتورهای بزرگ‌تر و افزایش مساحت آن‌ها شده که در نهایت باعث کاهش آیرودینامیک بیشتر و افزایش مصرف سوخت می‌شود.

۱-۶ روش‌های متداول برای افزایش انتقال حرارت

روش‌های متداول برای افزایش انتقال حرارت در سیستم‌های گرمایی، افزایش مساحت سطح انتقال حرارت و وسایل خنک‌کننده، افزایش سرعت جریان سیال عامل و یا پراکنده‌سازی ذرات جامد در سیالات ناقل گرما است؛ بنابراین روشی جدید برای افزایش انتقال حرارت در مبحث خنک‌سازی برای بسیاری از صنایع مثل الکترونیک، فوتونیک، حمل‌ونقل و صنایع تأمین انرژی مورد نیاز است.

۱-۶-۱ سوسپانسیون‌های جامد- مایع متداول و محدودیت‌های آن‌ها

یکی از روش‌های اولیه قرن حاضر که برای افزایش میزان خنک‌سازی مورد استفاده قرار گرفت، پراکنده‌سازی ذرات با اندازه میلی‌متر یا میکرومتری در سیالات ناقل گرما است. مسئله اصلی در سوسپانسیون‌هایی که حاوی ذرات با اندازه میلی‌متری یا میکرومتری هستند، ته‌نشینی سریع این ذرات است. از روش‌های استفاده شده برای جلوگیری از ته‌نشینی ذرات با اندازه میلی‌متری یا میکرومتری در حال گردش، نگه‌داشتن سیال بوده، ولی این کار لوله‌ها، پمپ‌ها و بلبرینگ‌ها را کهنه و فرسوده خواهد کرد. علاوه بر این، چنین ذراتی برای میکرو سیستم‌ها قابل استفاده نیستند زیرا می‌توانند به این نوع کانال‌ها بچسبند و این نوع کانال‌ها را دچار گرفتگی و انسداد کنند. این سوسپانسیون‌های سیال- جامد عملی نیستند، زیرا برای استفاده باید تعداد ذرات زیادی به سیال اضافه شود (معمولاً حجمی $> 10\%$)، که باعث افت فشار و افزایش توان پمپ کردن می‌شوند.

۱-۶-۲ خنک‌سازی به وسیله میکرو کانال‌ها و محدودیت‌های آن‌ها

از جمله روش‌هایی که تاکنون به منظور افزایش میزان انتقال حرارت مورد استفاده قرار گرفته است، است، سطوح گسترده مثل فین‌ها و میکرو کانال‌ها برای خنک‌سازی هوا یا مایعات بوده است. مبدل‌های گرمایی در مقیاس میکرو دارای ویژگی‌های متعددی از جمله تأثیر گرمایی بالا، نسبت سطح/ حجم انتقال حرارتی بالا، اندازه کوچک، وزن پایین، ذخیره سیال پایین و قابلیت انعطاف در طراحی هستند. به دلیل اینکه میکرو کانال‌ها در مقایسه با سیستم‌های متداول، فوق‌العاده متراکم و دارای وزن کم هستند، هزینه‌های مواد اولیه و تولید به شدت کاهش یافته و این مزیت‌های مهم توجه بسیاری

از شرکت‌های سازنده را به خود جلب کرده است. به عنوان مثال، صنعت الکترونیک دارای کاربردهایی در خنک‌سازی پکیج‌های پیشرفته الکترونیکی است؛ برای صنعت اتومبیل، تفاوت وزن بین سیستم‌های متداول و میکرو کانال (از جمله تهویه کننده‌های هوا) می‌تواند باعث بهینه‌سازی مصرف سوخت شود؛ در گرمایش و صنعت تهویه هوا (HVAC)، بخش خنک‌سازی و حجم تجهیزات تهویه می‌تواند کاهش یابد که خود نوعی طراحی مناسب در فضای ساختمان‌ها است. همچنین در دستگاه‌های شیمیایی و نفتی اندازه دستگاه‌ها می‌تواند از طریق تشدید و تقویت فرایند کاهش یابد. به حداقل رساندن اندازه و وزن سیستم‌های خنک‌سازی براساس تکنولوژی خنک‌سازی میکرو کانال نیز در صنایع نظامی و ارتباطات هوایی بسیار مهم است. متأسفانه در طراحی‌های فعلی سیستم‌های مدیریت گرمایی این فناوری گسترده را با محدودیت‌های پذیرفته‌اند؛ بنابراین، با ادامه کوچک‌سازی و افزایش شار گرمایی در محصولات جدید، موضوع خنک‌سازی در بسیاری از صنایع از الکترونیک و فوتونیک گرفته تا حمل‌ونقل، تأمین انرژی، دفاع و پزشکی مهم‌تر خواهد شد. در واقع نانوسیالات پاسخی برای نیازهای رو به افزایش انتقال حرارت مؤثر در بسیاری از صنایع است.

۱-۷ اصول نانوسیالات

انتقال حرارت یکی از مهم‌ترین فرایندها در بسیاری از صنایع و تجهیزات است. رسانایی گرمایی پایین سیالات متداول محدودیتی بزرگ در انتقال حرارت به‌شمار می‌رود؛ بنابراین، برای بیش از یک قرن از زمان ماکسول، دانشمندان و مهندسان تلاش‌های بسیار زیادی را برای شکستن این محدودیت‌های اساسی به‌وسیله پراکنده‌سازی ذرات میلی‌متری یا میکرومتری در مایعات انجام داده‌اند [۳]. مشکل اصلی در استفاده از چنین ذراتی ته‌نشینی سریع این ذرات درون سیالات پایه است. با توجه به اینکه فناوری سطوح گسترده قبلاً با محدودیت‌های طراحی‌های سیستم‌های مدیریت گرمایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، تکنولوژی‌هایی با پتانسیل بهبود ویژگی‌های گرمایی سیال باز هم مورد توجه محافل علمی قرار گرفته‌اند. ظهور نانوسیالات به‌طور مستقیم به روند کوچک‌سازی و نانوفناوری مربوط می‌شود. همان‌طور که ذکر شد مفهوم ماکسول قدیمی است، اما چیزی که در مفهوم نانوسیالات جدید و ابداعی بوده این است که اندازه ذرات دارای اهمیت زیادی در توسعه نانوسیالات پایدار و فوق‌العاده رسانا است.

۸-۱ ظهور و توسعه مفهوم نانوسیالات

هنگامی که چوی بر روی خنک‌سازی نیتروژن مایع در میکرو کانال کار می‌کرد، به محدوده آن نیز اشاره کرد که: افت فشار در مبدل‌های گرمایی میکرو کانال به‌طور قابل توجهی با کاهش مسیر جریان افزایش می‌یابد و یک سیستم تبرید برای خنک‌سازی نیتروژن مایع مورد نیاز است. در یک مبدل گرمایی نیتروژن مایع با میکرو کانال، انتقال حرارت مناسب خواهد بود، اما با هزینه بالای توان پمپ کردن و یک سیستم خنک‌سازی گسترده همراه است [۱]. وی می‌خواست یک مفهوم سیال انتقال حرارتی جدید را توسعه دهد که امکان افزایش انتقال حرارت را بدون افزایش قدرت پمپ کردن و بدون مبرد فراهم آورد. در نتیجه وی قابلیت هدایت حرارتی خود سیال را به‌جای اندازه کانال آن مورد بررسی قرار داد.

چوی بر دنیای کوچک‌تری تمرکز کرد و درحالی‌که بر روی چندین مقاله در مورد مواد نانو فاز مطالعه می‌کرد، به این نتیجه رسید که اگر نانوذرات بتوانند در یک سیال عامل پراکنده شوند و مفهوم نانوسیال را به خود بگیرند چه اتفاقی خواهد افتاد؛ که این مفهوم سوسپانسیون‌های پایدار نانوذرات در حال معلق در سیالات پایه بود. چوی پیشنهادی را به رئیس ANL در سال ۱۹۹۳ نوشت و در آن مطرح کرد که ذرات فلزی با ابعاد نانومتری می‌توانند به‌صورت پایدار در سیالات انتقال حرارتی صنعتی معلق شوند و یک طبقه جدید از سیالات تشکیل شده را با قابلیت رسانایی گرمایی بالا تولید کنند [۵-۱].

در توسعه سیالات ناقل گرما، هدایت حرارتی این سیالات نقش کلیدی را ایفا می‌کرد؛ بنابراین با تحقیقات گسترده پیشرفت‌های زیادی در افزایش انتقال حرارت و توانایی خنک‌سازی توسط نانوسیالات به‌وجود آمد، زیرا سیالات متداول که امروزه در سیستم‌های گرمایی، ازجمله آب، نفت و اتیلن گلیکول استفاده می‌شوند دارای قابلیت‌های هدایت حرارتی ذاتاً ضعیفی بوده که مقادیر آن‌ها از بسیاری از جامدات کوچک‌تر است. با توجه به افزایش رقابت جهانی در زمینه صنایع و نقش انرژی در هزینه تولید، این صنایع به‌شدت به سمت توسعه سیالات پیشرفته و جدید با شاخص‌های گرمایی بالا پیش می‌روند.

برای بیش از ۱۰۰ سال، دانشمندان و مهندسان تلاش‌های زیادی را برای افزایش قابلیت هدایت حرارتی ضعیف سیالات با افزودن ذرات جامد در مایعات انجام داده‌اند.

مطالعات نظری و آزمایشگاهی متعددی در مورد قابلیت هدایت حرارتی مؤثر سوسپانسیون‌های حاوی ذرات جامد، پس از ارائه یک پایه تئوری برای پیش‌بینی رسانایی مؤثر سوسپانسیون‌ها توسط ماکسول، انجام شده است [۲۱ و ۲]. همه این مطالعات در مورد هدایت حرارتی سوسپانسیون‌ها به ذرات دارای اندازه میلی‌متری و میکرومتری محدود می‌شود. این روش متداول دارای دو مشکل فنی عمده است:

۱. ذرات دارای اندازه‌های میکرومتری و یا میلی‌متری متداول به سرعت در سیالات ته‌نشین می‌شود.

۲. قابلیت‌های رسانایی این سوسپانسیون‌ها در غلظت‌های ذرات پایین، کم است. نانوفناوری، امکان تولید نانوذرات فلزی یا غیرفلزی را با میانگین اندازه کریستالی زیر 100 nm فراهم می‌کند. ویژگی‌های مکانیکی، نوری، الکتریکی، مغناطیسی و گرمایی نانوذرات از ویژگی‌های مواد توده‌ای متداول با ساختارهای دانه‌ای بزرگ و خشن بهتر است. با به‌کارگیری نانوفناوری در مهندسی گرمایی، چوی مفهوم جدید نانوسیالات را با این فرضیه‌سازی درک کرد که امکان شکستن این موانع فنی قرن گذشته، با بهره‌برداری از ویژگی‌های منحصربه‌فرد نانوذرات وجود دارد. نانوسیالات طبقه جدیدی از سیالات ناقل گرما براساس نانوفناوری هستند که با پراکنده‌سازی ذرات در اندازه نانومتر با مقیاس‌های طول نمونه در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر در سیالات ناقل گرما متداول تولید شده است.

۱-۹ مزایای استفاده از نانوسیالات

با توجه به نتایج تحقیقات و بررسی‌های محققان در زمینه استفاده از نانوسیالات، بهبود انتقال حرارت و استفاده از آن در صنایع بزرگ دور از دسترس نیست. در ادامه برخی از مزایا و قابلیت‌های بالقوه نانوسیالات اشاره خواهد شد.

۱-۹-۱ بهبود انتقال حرارت و پایداری

کاهش اندازه ذرات یک جامد که همراه با افزایش تعداد آن‌ها در واحد جرم است، منجر به افزایش سطح مخصوص می‌شود. به‌طوری‌که سطح مخصوص ذراتی با اندازه نانومتری در حدود 1000 برابر سطح مخصوص ذراتی با ابعاد میکرومتر است. با کاهش اندازه ذرات به حدود نانومتر درصد بیشتری از اتم‌های آن در نزدیکی سطح قرار

می گیرند. سطح ذرات در انتقال حرارت مؤثر بوده و با توجه به اینکه نانوذرات دارای سطح مخصوص زیادی هستند، بنابراین استفاده از نانوذرات درون سیال پایه باعث بهبود انتقال حرارت می شود. همچنین با توجه به اینکه همیشه یکی از مشکلات افزودن ذرات به اندازه میکرومتر به سیال پایه ته نشینی سریع آنها است، استفاده از ذراتی در مقیاس نانو تا حدودی این مشکل را برطرف کرده است.

۱-۹-۲ کاهش گرفتگی و انسداد مجاری

اندازه ذرات فلزی استفاده شده در تحقیقات اولیه برای بررسی ایده مخلوط کردن ذرات فلزی در مایع در مقیاس میکرومتر بودند بنابراین به سرعت ته نشین شده و باعث گرفتگی و انسداد مجاری می شدند. درحالی که استفاده از ذرات با اندازه نانو معمولاً سوسپانسیون پایدارتری را تشکیل داده و با کاهش ته نشینی ذرات، گرفتگی و انسداد مجاری به حداقل می رسد.

۱-۹-۳ کاهش اندازه و هزینه های سیستم های انتقال حرارت

با توجه به قابلیتی که نانوسیال ها در بهبود انتقال حرارت از خود نشان داده اند، برای انتقال مقدار مشخصی حرارت، مبدل های گرمایی لازم با استفاده از نانوسیال به جای سیال معمولی دارای اندازه کوچک تری بوده و مصرف مواد اولیه در تهیه این مبدل ها نیز کمتر می شود. همچنین با کاهش اندازه و وزن تجهیزات انتقال حرارت با به کارگیری نانوسیال ها صرفه جویی قابل توجهی در هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی واحدهای صنعتی ایجاد می شود.

۱-۹-۴ اهمیت اندازه نانو

در نانوسیالات، ذرات جامد به این دلیل اضافه می شوند که گرما را بسیار بهتر از مایعات انتقال می دهند. به خوبی مشخص است که فلزات در شکل جامد خود دارای هدایت حرارتی بالایی نسبت به سیالات هستند. به عنوان مثال هدایت حرارتی مس حدود ۷۰۰ برابر آب و ۳۰۰۰ برابر روغن موتور است [۳]. هدایت حرارتی مواد فلزی، اکسید فلزی بسیار بیشتر از هدایت حرارتی مواد غیرفلزی است. به همین دلیل، انتظار می رود که

سیالات حاوی ذرات جامد معلق فلزی یا اکسید فلزی دارای هدایت حرارتی بیشتری نسبت به سیالات خالص باشند. مشکل اصلی در استفاده از ذرات بزرگ ته‌نشینی سریع این ذرات در سیالات و فرسودگی و ناخالصی است. این مشکلات برای بسیاری از کاربردهای خنک‌سازی نامطلوب است. نانوسیالات در غلبه بر مشکل پایداری با استفاده از ذرات نانومتری در سیالات پایه به‌جای ذرات میکرومتری، عملکرد بسیار بهتری دارند. در مقایسه با ذرات میکرو، نانوذرات برای مدت طولانی‌تر به‌صورت معلق باقی می‌مانند و دارای مساحت سطح بزرگ‌تری هستند. نسبت سطح به حجم نانوذرات ۱۰۰۰ برابر بزرگ‌تر از ذرات میکرو است. با توجه به اینکه انتقال حرارت در سطح ذره رخ می‌دهد مساحت سطحی بالاتر نانوذرات، رسانایی گرمایی نانوسیالات را افزایش می‌دهد.

تعداد اتم‌هایی که در سطح نانوذرات وجود دارد، بسیار بزرگ است؛ بنابراین، ویژگی‌های منحصر به فرد نانوذرات مثل پایداری شدید و قابلیت رسانایی گرمایی فوق‌العاده بالا می‌توانند برای توسعه نانوسیالات برای سیستم‌های انتقال حرارتی بسیار مطلوب‌تر مورد بهره‌برداری قرار گیرند. به‌علاوه، چون نانوذرات بسیار کوچک هستند، ممکن است فرسایش و ناخالصی را به‌طور قابل توجهی کاهش دهند. از دیگر فوایدی که برای نانوسیالات مشاهده شده است می‌توان به کاهش توان پمپ کردن، کاهش میزان و حجم سیال عامل و ذخیره‌سازی انرژی بالا اشاره کرد.

یکی از مواردی که در دنیای کنونی علم و فناوری مهم است بحث مربوط به ابعاد و اندازه‌هاست. اندازه یک متغیر فیزیکی مهم در نانوسیالات است، زیرا می‌تواند برای سازمان‌دهی ویژگی‌های گرمایی نانوسیالات و همچنین پایداری سوسپانسیون نانوذرات مورد استفاده قرار گیرد. نانوفناوری چشم‌اندازهای خوبی را برای تولید یک نوع جدید از سیال انتقال حرارت ارائه می‌کند که دارای ویژگی‌های گرمایی خوبی و ظرفیت خنک‌کنندگی مناسب است؛ بنابراین پیشگامان نانوسیالات مفهوم سوسپانسیون جامد-سیال را در یک سطح کاملاً جدید در نظر گرفته‌اند. جدول ۱-۱ سوسپانسیون‌های ذرات میکرو و نانوذرات را با هم مقایسه کرده و فواید نانوسیالات حاوی نانوذرات را نشان می‌دهد.