

صلى الله عليه وسلم



دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده شیمی

هدایت گرمایی نانوسیال نانولوله‌های کربنی چندجداره در آب

پایان‌نامه کارشناسی ارشد شیمی فیزیک

زهرة کم‌صداآرانی

اساتید راهنما

دکتر عزت کشاورزی

دکتر یوسف غایب



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده شیمی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته شیمی فیزیک خانم زهره کم صدآرانی

تحت عنوان

هدایت گرمایی نانوسیال نانولوله‌های کربنی چندجداره در آب

در تاریخ ۱۳۸۷/۱۱/۷ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر عزت کشاورزی

۱- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر یوسف غایب

۲- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر بهزاد رضایی

۳- استاد داور

دکتر حسین فرخ پور

۴- استاد داور

دکتر بیژن نجفی

سرپرست تحصیلات تکمیلی

تو را چگونه شکر گویم،

نعمت وجود و بودن و زندگی کردنم را که خود هم از درک عظمت آن ناتوانم و هر گاه به آن می اندیشم از شوق، اشک امانم نمی دهد.

خلقتی آراسته و کامل که تو خود هم، خود را در آن تحسین کرده ای،

پدر و مادری دلسوز که تو آنها را نسبت به من مهربان قرار داده ای،

و مراحل رشد من از کودکی به نوجوانی و از نوجوانی به جوانی که گویی از قبل بسیار دقیق طراحی شده است تا من به بهترین صورت تربیت شوم و تکامل یابم.

نگاه دقیق و احساسی لطیف که زیبایی خلقت نور، صدا، فضا، رنگ، ... را به اندازه ای ناچیز درک کنم و بدانم که تو جز زیبایی نمی آفرینی و در هر لحظه چنان لذتی از زندگی بیرم که در وصف هم نمی گنجد و شکوفه های امید را تا ابد در دلم تازه نگه دارد.

تو را سپاس که در تمام زندگیم به من بهترین ها را داده ای، بهترین مادر و پدر، بهترین خانواده، بهترین دوستان و بهترین ...

خدایا تو را آنگونه که هستی دوست دارم پس مرا آنگونه قرار بده که دوست داری.

در ابتدا بر خود لازم می دانم که از خانواده ی عزیزم که در تمامی مراحل زندگی، مشوق و پشتیبان من بودند، تشکر و قدردانی نمایم. درود بر مادر و پدرم که همیشه به وجودشان افتخار می کنم.

از اساتید ارجمند و بزرگوارم، سرکار خانم دکتر کشاورزی و جناب آقای دکتر غایب که با زحمات و راهنمایی های بسیار ارزشمند خود این جانب را در امر تهیه ی این پایان نامه همراهی کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از تمامی دوستان عزیزم و عنایت های بی دریغ آنها نیز صمیمانه سپاسگزارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است.

تقدیم به مهربانترین مادر دنیا و

فداکارترین پدر دنیا

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
هشت	فهرست مطالب
ده	فهرست شکل ها
۱	چکیده
۲	فصل اول: مقدمه
۴	۱-۱- خواص نانولوله های کربنی
۴	۱-۱-۱- خواص مکانیکی
۵	۲-۱-۱- خواص الکتریکی
۵	۳-۱-۱- خواص گرمایی
۵	۲-۱- کاربردهای نانولوله های کربنی
۵	۱-۲-۱- پرکننده در کامپوزیت ها
۶	۲-۲-۱- حسگر
۷	۳-۲-۱- وسایل الکتریکی
۷	۴-۲-۱- حذف آلودگی
۸	۵-۲-۱- انرژی
۹	۳-۱- نانوسیال
۱۰	۴-۱- کاربرد نانوسیال ها
۱۰	۱-۴-۱- حمل و نقل
۱۰	۲-۴-۱- الکترونیک
۱۱	۳-۴-۱- سیستم های دفاعی
۱۱	۴-۴-۱- رآکتورهای هسته ای
۱۱	۵-۴-۱- پزشکی
۱۲	۶-۴-۱- کنترل و پاکسازی محیط
۱۲	۷-۴-۱- سایر کاربردها
۱۴	فصل دوم: هدایت گرمایی و نانوسیال
۱۴	۱-۲- هدایت گرمایی
۱۷	۲-۲- عوامل موثر بر هدایت گرمایی نانوسیال ها
۱۷	۱-۲-۲- هدایت گرمایی نانوذرات
۱۷	۲-۲-۲- هدایت گرمایی سیال پایه
۱۸	۳-۲-۲- غلظت نانوذرات
۱۸	۴-۲-۲- اندازه نانوذرات
۱۹	۵-۲-۲- شکل نانوذرات
۲۰	۶-۲-۲- pH

۲۰	..... ۷-۲-۲- معلق کننده های کمکی
۲۱	..... ۸-۲-۲- میدان مغناطیسی
۲۲	..... ۹-۲-۲- دما
۲۲	..... ۳-۲- روش های تهیه تعلیق پایدار از نانولوله های کربنی
۲۵	..... ۱-۳-۲- روش های فیزیکی
۲۹	..... ۲-۳-۲- روش های شیمیایی
۳۵	..... ۴-۲- مروری بر کارهای گذشته
۴۳	..... فصل سوم: هدایت گرمایی نانوسیال نانولوله های کربنی در آب
۴۳	..... ۱-۳- مواد و دستگاه های مورد استفاده
۴۵	..... ۲-۳- ایجاد تعلیق پایدار از نانولوله های کربنی چندجداره در آب
۴۵	..... ۱-۲-۳- فعال سازی نانولوله های کربنی توسط مخلوط اسید
۴۶	..... ۲-۲-۳- فعال سازی نانولوله های کربنی توسط آب اکسیژنه
۴۶	..... ۳-۲-۳- تهیه نانوسیال
۴۷	..... ۳-۳- بررسی پایداری نانوسیال های تهیه شده از نانولوله های کربنی فعال
۴۷	..... ۴-۳- انتخاب روش بهینه فعالسازی
۵۰	..... ۱-۴-۳- نانوسیال های ۰/۰۲ درصد وزنی نانولوله های کربوکسیله شده
۵۱	..... ۲-۴-۳- نانوسیال های ۰/۰۲ درصد وزنی نانولوله های هیدروکسیله شده
۵۶	..... ۵-۳- تعیین بهینه زمان موج دهی نانوسیال نانولوله های هیدروکسیله در آب
۵۶	..... ۱-۵-۳- نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی
۶۱	..... ۲-۵-۳- نانوسیال ۰/۰۷۵ درصد وزنی
۶۲	..... ۳-۵-۳- نانوسیال ۰/۱ درصد وزنی
۶۳	..... ۴-۵-۳- نانوسیال ۰/۱۷ درصد وزنی
۶۳	..... ۵-۵-۳- نانوسیال ۰/۲ درصد وزنی
۶۵	..... ۶-۳- تأثیر غلظت نانولوله های کربنی بر هدایت گرمایی نانوسیال
۶۶	..... ۷-۳- پایداری نانوسیال های تهیه شده
۷۰	..... ۸-۳- هدایت گرمایی نانوسیالات حاوی نانولوله های کربنی و ذرات اکسیدتیتانیوم
۷۳	..... ۱-۸-۳- نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی نانولوله های کربنی کربوکسیله و نانوذرات اکسیدتیتانیوم
۷۷	..... ۲-۸-۳- نانوسیال مخلوط جوشانده شده
۸۱	..... فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری
۸۶	..... پیوست
۱۱۰	..... مراجع
۱۱۷	..... چکیده انگلیسی

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۴	شکل ۱-۱- انواع پیچش صفحه گرافیتی و نانولوله های کربنی تک جداره
۶	شکل ۱-۲- کوچک ترین دنده ساخته شده از ترکیب نانولوله های کربنی و نایلون
۱۵	شکل ۱-۲- گرادیان دمایی در جسمی بین دو ناحیه دمایی
۱۶	شکل ۲-۲- تغییرات هدایت گرمایی نانولوله های کربنی با تغییر طول نانولوله ها
۱۸	شکل ۳-۲- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال اکسید مس در اتیلن گلیکول با افزایش غلظت
۱۹	شکل ۴-۲- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال در اتیلن گلیکول با تغییر اندازه ذرات Al_2Cu
۱۹	شکل ۵-۲- تغییر هدایت گرمایی نانوسیال مس در آب با تغییر کرویت
۲۲	شکل ۶-۲- تاثیر تغییرات دما بر هدایت گرمایی نانوسیال اکسید آلومینیوم در آب
۲۴	شکل ۷-۲- پیچش نانولوله ها به دور ذرات کاتالیستی و تشکیل تراکم اولیه
۲۴	شکل ۸-۲- تجمع نانولوله های کربنی و تشکیل تراکم چندگانه
۲۶	شکل ۹-۲- موج دهی یک نمونه با امواج فراصوتی
۲۷	شکل ۱۰-۲- تغییرات طول نانولوله کربنی با افزایش زمان موج دهی
۲۸	شکل ۱۱-۲- نمونه ای از دستگاه بال میلینگ
۲۹	شکل ۱۲-۲- ایجاد گروه های عاملی قطبی در ته نانولوله ها طی فرایند فعالسازی با مخلوط اسید
۳۰	شکل ۱۳-۲- نانولوله کربنی جوشانده شده در مخلوط اسید
۳۰	شکل ۱۴-۲- نانولوله کربنی حرارت داده شده در دمای بالا قبل از جوشانده شدن در اسید
۳۲	شکل ۱۵-۲- نانولوله های کربنی عامل دار شده توسط آب اکسیژنه
۳۲	شکل ۱۶-۲- نانولوله های کربنی عامل دار شده توسط مخلوط اسید سولفوریک و اسید نیتریک
۳۳	شکل ۱۷-۲- مکانیزم اکسیداسیون نانولوله ها توسط پرمنگنات
۳۴	شکل ۱۸-۲- نمونه ای از معلق کننده ها مورد استفاده برای نانولوله های کربنی
۳۴	شکل ۱۹-۲- قرار گرفتن نانوذرات اکسیدزیرکونیوم بین نانولوله های تک جداره و افزایش پایداری آنها در آب
۳۵	شکل ۲۰-۲- افزایش غیرخطی هدایت گرمایی نانوسیال با غلظت نانولوله های کربنی
۳۶	شکل ۲۱-۲- افزایش هدایت گرمایی نانوسیال با افزایش غلظت نانولوله های کربنی
۳۷	شکل ۲۲-۲- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال نانولوله های کربنی در آب با افزایش زمان موج دهی
۳۷	شکل ۲۳-۲- افزایش هدایت گرمایی نانوسیال نانولوله های کربنی در اتیلن گلیکول با افزایش غلظت نانولوله ها
۳۸	شکل ۲۴-۲- افزایش هدایت گرمایی نانوسیال نانولوله های کربنی در روغن موتور با افزایش غلظت نانولوله ها
۳۸	شکل ۲۵-۲- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال ۰/۶ درصد حجمی نانولوله های کربنی چند جداره در آب با تغییر
۳۹	زمان موج دهی
۳۹	شکل ۲۶-۲- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال نانولوله های کربنی در آب با تغییر غلظت و دما
۴۰	شکل ۲۷-۲- کاهش نانولوله های کربنی با افزایش زمان موج دهی Aspect ratio
۴۱	شکل ۲۸-۲- تاثیر انرژی معلق سازی نانولوله ها بر هدایت گرمایی نانوسیال
۴۱	شکل ۲۹-۲- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال با پایه روغن با تغییر غلظت فاز جامد

- شکل ۳-۱- نانوسیال های نانولوله های کربنی چندجداره در آب ۴۸
- شکل ۳-۲- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال ۰/۰۲ درصدوزنی نانولوله کربوکسیله درآب با زمان موج دهی ۱۵ دقیقه با گذشت زمان ۴۹
- شکل ۳-۳- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال ۰/۰۲ درصدوزنی نانولوله هیدروکسیله درآب با زمان موج دهی ۱۵ دقیقه با گذشت زمان ۴۹
- شکل ۳-۴- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال ۰/۰۲ درصدوزنی نانولوله کربوکسیله درآب با زمان موج دهی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه با گذشت زمان ۵۱
- شکل ۳-۵- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال ۰/۰۲ درصدوزنی نانولوله هیدروکسیله درآب با زمان موج دهی ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه با گذشت زمان ۵۱
- شکل ۳-۶- مقایسه تغییرات هدایت گرمایی نانولوله های کربنی هیدروکسیله و کربوکسیله در آب با افزایش زمان موج دهی ۵۲
- شکل ۳-۷- تصویر SEM نانولوله های کربنی کربوکسیله در نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی پس از ۳۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۵۰۰ نانومتر ۵۳
- شکل ۳-۸- تصویر SEM نانولوله های کربنی کربوکسیله در نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی پس از ۳۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۲۰۰ نانومتر ۵۴
- شکل ۳-۹- تصویر SEM نانولوله های کربنی هیدروکسیله در نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی پس از ۳۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۵۰۰ نانومتر ۵۴
- شکل ۳-۱۰- تصویر SEM نانولوله های کربنی هیدروکسیله در نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی پس از ۳۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۲۰۰ نانومتر ۵۵
- شکل ۳-۱۱- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی نانولوله های کربنی در آب با افزایش زمان موج دهی ۵۷
- شکل ۳-۱۲- تصویر SEM از نانولوله های کربنی هیدروکسیله در نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی پس از ۱۵ دقیقه موج دهی در مقیاس ۱ میکرومتر ۵۸
- شکل ۳-۱۳- تصویر SEM از نانولوله های کربنی هیدروکسیله در نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی پس از ۱۵ دقیقه موج دهی در مقیاس ۵۰۰ نانومتر ۵۸
- شکل ۳-۱۴- تصویر SEM از نانولوله های کربنی هیدروکسیله در نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی پس از ۳۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۱ میکرومتر ۵۹
- شکل ۳-۱۵- تصویر SEM از نانولوله های کربنی هیدروکسیله در نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی پس از ۳۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۱ میکرومتر ۵۹
- شکل ۳-۱۶- تصویر SEM از نانولوله های کربنی هیدروکسیله در نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی پس از ۶۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۱ میکرومتر ۶۰
- شکل ۳-۱۷- تصویر SEM از نانولوله های کربنی هیدروکسیله در نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی پس از ۶۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۵۰۰ نانومتر ۶۰
- شکل ۳-۱۸- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال ۰/۰۷۵ درصد وزنی نانولوله های کربنی در آب با افزایش زمان موج دهی ۶۲
- شکل ۳-۱۹- تغییر هدایت گرمایی نانوسیال ۰/۱ درصدوزنی نانولوله های کربنی در آب با افزایش زمان موج دهی ۶۲

۶۳	شکل ۳-۲۰- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال ۰/۱۷ درصد وزنی نانولوله های کربنی در آب با افزایش زمان موج دهی
۶۴	شکل ۳-۲۱- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال ۰/۲ درصد وزنی نانولوله های کربنی در آب با افزایش زمان موج دهی
۶۴	شکل ۳-۲۲- تغییرات زمان بهینه موج دهی با غلظت نانولوله های کربنی
۶۵	شکل ۳-۲۳- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال با غلظت نانولوله های کربنی چندجداره در زمان بهینه مربوطه
۶۶	شکل ۳-۲۴- هدایت گرمایی نانوسیال ۰/۰۲ درصد وزنی نانولوله ها بعد از نیم دقیقه، یک ساعت و سی روز بعد از موج دهی بر حسب زمان موج دهی
۶۷	شکل ۳-۲۵- درصد افزایش هدایت گرمایی نانوسیال های نانولوله های کربنی در آب در غلظت های مختلف بعد از گذشت ۳۰ روز بر حسب زمان های موج دهی
۶۸	شکل ۳-۲۶- نانوسیال ۰/۱۷ درصد وزنی نانولوله ها در آب پس از ۱۵ روز
۶۸	شکل ۳-۲۷- ته نشینی نانولوله های کربنی در نانوسیال ۰/۲ درصد وزنی با گذشت زمان
۶۹	شکل ۳-۲۸- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال ها با بهینه زمان موج دهی با گذشت زمان
۷۱	شکل ۳-۲۹- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال اکسیدتیتانیوم در آب با زمان موج دهی در غلظت ۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۶ درصد وزنی
۷۳	شکل ۳-۳۰- مقایسه درصد افزایش هدایت گرمایی نانوسیال مخلوط نانولوله ها و نانوذرات اکسیدتیتانیوم در زمان های موج دهی ۱۵ تا ۶۰ دقیقه
۷۴	شکل ۳-۳۱- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال مخلوط ۰/۰۲ درصد وزنی نانولوله ها و نانوذرات اکسیدتیتانیوم در زمان های موج دهی ۱۵ تا ۶۰ دقیقه
۷۴	شکل ۳-۳۲- تصویر SEM از نانوسیال مخلوط ۰/۰۲ درصد وزنی نانولوله های کربنی کربوکسیله و ۰/۰۶ درصد وزنی نانوذرات اکسیدتیتانیوم پس از ۳۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۱ میکرومتر
۷۵	شکل ۳-۳۳- تصویر SEM از نانوسیال مخلوط ۰/۰۲ درصد وزنی نانولوله های کربنی کربوکسیله و ۰/۰۶ درصد وزنی نانوذرات اکسیدتیتانیوم پس از ۴۵ دقیقه موج دهی در مقیاس ۱ میکرومتر
۷۶	شکل ۳-۳۴- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال مخلوط نانولوله های کربنی و نانوذرات اکسیدتیتانیوم در غلظت های متفاوت نانوذرات اکسید تیتانیوم
۷۷	شکل ۳-۳۵- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال مخلوط نانولوله های کربنی و نانوذرات اکسیدتیتانیوم در غلظت های متفاوت نانوذرات اکسید تیتانیوم بعد از ۱۵ روز
۷۸	شکل ۳-۳۶- تغییرات هدایت گرمایی نانوسیال مخلوط ۰/۰۶ درصد وزنی از نانوذرات اکسیدتیتانیوم و ۰/۰۲ درصد وزنی از نانولوله های کربنی با زمان موج دهی
۷۸	شکل ۳-۳۷- تصویر SEM از نانوسیال ذرات مخلوط جوشانده شده با اسید در آب پس از ۳۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۱ میکرومتر
۷۹	شکل ۳-۳۸- تصویر SEM از نانوسیال ذرات مخلوط جوشانده شده با اسید در آب پس از ۳۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۵۰۰ نانومتر
۷۹	شکل ۳-۳۹- تصویر SEM از نانوسیال ذرات مخلوط جوشانده شده با اسید در آب پس از ۳۰ دقیقه موج دهی در مقیاس ۲۰۰ نانومتر

چکیده

نانولوله های کربنی به دلیل ساختار و خواص منحصر به فرد، کاربردهای گسترده ای در علوم و صنایع دارند که هدایت گرمایی زیاد نانولوله ها نیز از جمله این خواص است. در این تحقیق نانوسیال با هدایت گرمایی زیاد با استفاده از نانولوله های کربنی چندجداره در آب تهیه شده است. نکته حائز اهمیت در مورد این نانوسیالات، ایجاد تعلیق پایدار و همگن است که به علت تجمع نانولوله ها کار دشواری است. برای ایجاد تعلیق پایدار و همگن از نانولوله ها در آب، از فرایند جوشاندن نانولوله ها با مخلوط اسید برای ایجاد گروه های کربوکسیلیک و از جوشاندن نانولوله ها در محلول آب اکسیژنه برای ایجاد گروه های هیدروکسیلیک استفاده شد. هم چنین به منظور معلق سازی بهتر نانولوله ها از موج دهی فراصوتی برای تهیه نانوسیال استفاده شد. آزمایشات نشان می دهد که هدایت گرمایی نانوسیال حاوی نانولوله های هیدروکسیله در آب از نانوسیال نانولوله های کربوکسیله در آب بیشتر است. هم چنین تاثیر غلظت نانولوله های کربنی و زمان موج دهی بر هدایت گرمایی نانوسیال ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از افزایش هدایت گرمایی نانوسیال با غلظت نانولوله ها است. هم چنین مشخص شد که زمان موج دهی تاثیر بسیار زیادی در هدایت گرمایی نانوسیال دارد و زمان بهینه ای مطابق با بیشترین میزان افزایش هدایت گرمایی وجود دارد. زمان بهینه موج دهی با افزایش غلظت نانولوله های کربنی از ۰/۲ تا ۰/۱ درصد وزنی از ۳۰ دقیقه به ۱۰ دقیقه کاهش یافت ولی در محدوده غلظت ۰/۱ تا ۰/۲ درصد وزنی مستقل از غلظت بود. تصاویر SEM نشان می دهد که تشکیل شبکه های منظم از نانولوله های منفرد در زمان بهینه موج دهی باعث افزایش شدید هدایت گرمایی و پایداری نانوسیال می شود. به منظور مطالعه پایداری نانوسیال ها، هدایت گرمایی آنها با گذشت زمان نیز مورد مطالعه قرار گرفت. اگر چه هدایت گرمایی نانوسیال بلافاصله پس از موج دهی با افزایش غلظت نانولوله ها افزایش یافت ولی نانوسیال های رقیق تر پایدارتر بودند. در مرحله نهایی، هدایت گرمایی نانوسیال مخلوط نانولوله های کربنی و اکسیدتیتانیوم بررسی شد. نانوذرات اکسیدتیتانیوم به جداره های نانولوله های کربوکسیله متصل شده و باعث باز شدن نانولوله ها و افزایش شدید هدایت گرمایی نانوسیال مخلوط نسبت به نانوسیال حاوی نانولوله های کربنی در آب می شود. ولی نانولوله های هیدروکسیله به دور ذرات اکسیدتیتانیوم پیچیده و هدایت گرمایی نانوسیال را کاهش می دهند. نانوذرات اکسیدتیتانیوم هم چنین می توانند به انتهای نانولوله ها نیز متصل شوند ولی این اتصال نیز باعث کاهش هدایت گرمایی نانوسیال می شود. به نظر می رسد که این اتصالات فقط با اعمال حرارت به مخلوط نانولوله ها و نانوذرات اکسیدتیتانیوم امکان پذیر است.

فصل اول

نانولوله‌های کربنی

و

نانوسیال

از آغاز قرن ۲۱ دانشمندان توجه خود را بر فناوری نوینی معطوف کرده‌اند که در تمام زمینه‌های علم و فناوری کاربردهای منحصر به فرد دارد و با قابلیت‌های نهفته خود عرصه دیگری را به بشر عرضه نموده است. فناوری نانو که نگرش جدیدی به تمام انواع رشته‌های علمی است، به یکی از جذاب‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی در سال‌های اخیر تبدیل شده است. اولین جرقه این فناوری در سال ۱۹۵۹ توسط ریچارد فیمن^۱ طی یک سخنرانی با عنوان "فضای زیادی در پایین وجود دارد" زده شد. اولین بار عبارت فناوری نانو توسط اریک درکسلر^۲ در سال ۱۹۸۶ در کتابی از وی به عنوان موتورهای آفرینش بسط داده شد. وی در سال ۱۹۹۱ اولین مدرک دکتری در این زمینه را از دانشگاه MIT دریافت کرد [۱]. آلبرت فرانکس^۳ از پیشگامان توسعه کاربردهای صنعتی فناوری نانو معتقد است، فناوری نانو بخشی از علم و فناوری است که ارقام و ابعاد با معنی در محدوده ۰/۱ تا ۱۰۰ نانومتر در آن نقش اساسی را ایفا می‌کند. اساس این فناوری، کنترل اتم‌ها و مولکول‌ها است به نحوی که بتوان در خواص مواد تغییراتی ایجاد کرد و از آنها استفاده بهتری برد [۲]. کاربردهای گسترده این فناوری در الکترونیک، حمل و نقل، پزشکی و انرژی و ... که روز

¹ Richard Feynman

² Eric Drexler

³ Albert Franks

به روز در حال گسترش است، توجه جهانی به این فناوری را بسیار افزایش داده است، به طوری که روند رو به رشد این فناوری در حال پیشی گرفتن از پروژه‌های ژنوم انسانی^۱ و فناوری اطلاعات است.

اساس مطالعات کاربردی و علمی این فناوری، عناصر پایه این فناوری است و تفاوت این فناوری با سایر فناوری‌ها در عناصر پایه یا نانو ساختارهایی است که در این فناوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته تنها کوچک بودن اندازه مدنظر نیست، بلکه زمانی که اندازه مواد در این مقیاس قرار می‌گیرد، خصوصیات ذاتی آنها از جمله رنگ، استحکام و مقاومت در مقابل خوردگی تغییر می‌کند. در حقیقت اگر بخواهیم تفاوت این فناوری را با سایر فناوری‌ها به صورت قابل ارزیابی بیان کنیم، می‌توانیم وجود عناصر پایه را به عنوان یک معیار ذکر کنیم. عناصر پایه همان عناصر نانومقیاسی هستند که خواص آنها در مقیاس نانو با خواصشان در مقیاس بزرگتر فرق می‌کند. در حقیقت کاربرد فناوری نانو از کاربرد عناصر پایه نشأت می‌گیرد. عناصر پایه اصلی شامل نانوذره، نانو کپسول و نانولوله است. اولین و مهم‌ترین عنصر پایه، نانوذره است. نانوذره، ذره‌ای در ابعاد نانومتری در هر سه بعد است که می‌تواند از مواد مختلفی تشکیل شود، نانوذرات فلزی، اکسید فلزی و سرامیک.... عنصر دوم نانو کپسول‌ها هستند که دارای یک پوسته و یک فضای داخلی جهت قرار گرفتن و حمل مواد هستند. فسفولیدها نمونه‌هایی از نانو کپسول‌ها هستند. آنها با یک سر آب‌دوست و یک سر آب‌گریز وقتی در یک محیط آبی قرار بگیرند، تشکیل کپسول‌هایی می‌دهند که سر آب‌دوست آنها بیرون و سر آب‌گریز آنها درون کپسول قرار می‌گیرد. از پلیمری مثل پروتئین نیز می‌توان برای ساخت نانو کپسول استفاده کرد. عنصر سوم، نانولوله‌ها هستند که مهم‌ترین و معروف‌ترین آنها، نانولوله‌های کربنی است. نانولوله‌های کربنی در دو شکل اصلی تولید می‌شوند. نانولوله‌های چندجداره^۲ که اولین بار در سال ۱۹۹۱ توسط ییجیما^۳ در دوده‌های فولرن کشف شد و نانولوله‌های تک‌جداره^۴ که در سال ۱۹۹۳ شناسایی شد. نانولوله‌های تک-جداره مطابق آنچه در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، بر اساس پیچش صفحات گرافیتی در سه فرم زیگزاگ^۵، صندلی^۶ و کایرال^۷ وجود دارند [۳].

¹ Human Genome Project(HGP)

² Multiwalled carbon nanotube

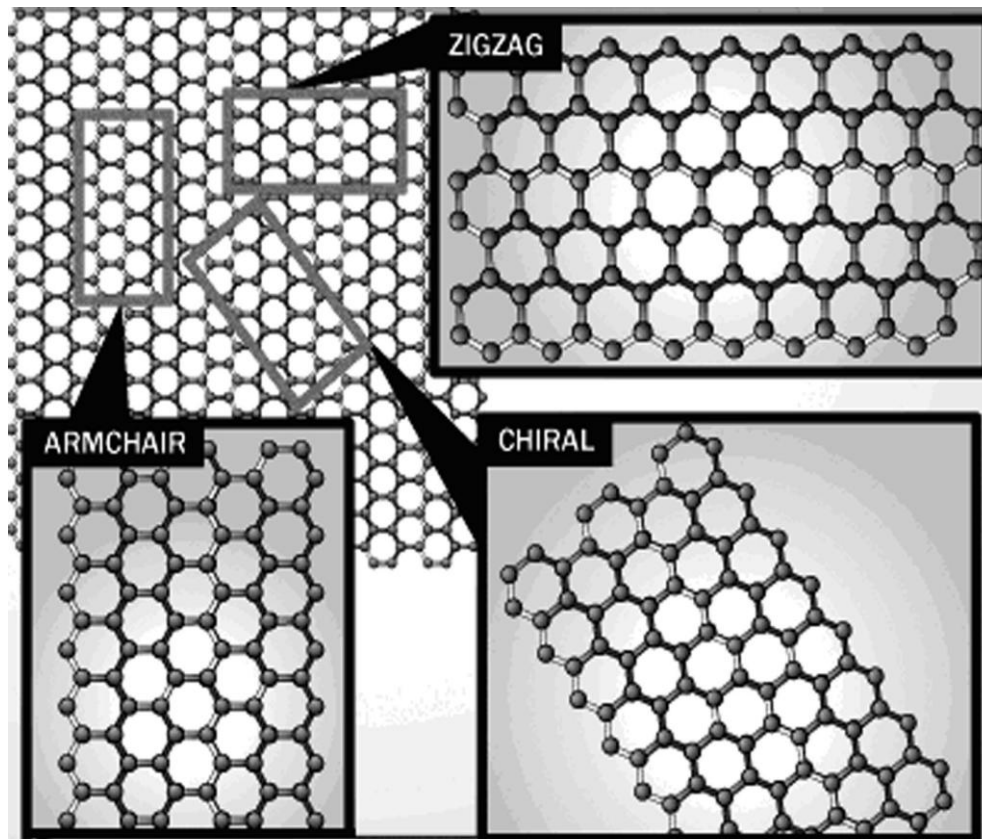
³ Iijima

⁴ Singlewalled carbon nanotube

⁵ Zigzag

⁶ Armchair

⁷ Chiral



شکل ۱-۱- انواع پیچش صفحه گرافیتی و نانولوله های کربنی تک جداره [۳]

۱-۱- خواص نانولوله های کربنی

از زمان کشف نانولوله های کربنی مطالعات فراوانی به منظور تعیین خواص این ماده صورت گرفته است که این مطالعات هم چنان برای بررسی دقیق تر خواص نانولوله های کربنی ادامه دارد. در این بخش خواص مکانیکی، الکتریکی و گرمایی نانولوله ها به دلیل اهمیت بیشتر، مورد بررسی قرار می گیرد.

۱-۱-۱- خواص مکانیکی

نانولوله ها یکی از محکم ترین موادی هستند که تاکنون شناخته شده اند. نانولوله های کربنی سختی و مقاومت زیادی دارند که میزان این سختی ده تا صد برابر محکم ترین فولادها است. بر اساس محاسبات نظری، نانولوله ها بیشترین مدول یانگ^۱ را که مشخصه ای برای استحکام پیوندهاست، دارند. نانولوله ها ساختار بسیار انعطاف پذیر و کشش شکست بسیار بالایی دارند. آنها به آسانی می توانند پیچ بخورند، مسطح یا خم شوند و حتی به شکل دایره در آیند ولی دوباره به شکل اصلی خود بازگردند [۵].

¹ Young's modulus

۱-۱-۲- خواص الکتریکی

هدایت الکتریکی نانولوله‌ها بیشتر مربوط به نانولوله‌های تک‌جداره است و نانولوله‌های چندجداره از نظر هدایت الکتریکی اهمیت چندانی ندارند. در مورد نانولوله‌های تک‌جداره هم میزان هدایت الکتریکی بسته به نوع آنها متفاوت است. نوع صندلی این نانولوله‌ها هزار بار از مس رساناتر است، اما فرم کایرال و زیگزاگ آن خاصیت نیمه رسانایی دارد. وجود نقص‌های ساختاری در نانولوله‌ها و خم شدن و پیچش آنها، باعث افزایش مقاومت الکتریکی و کاهش هدایت الکتریکی می‌شود [۶].

۱-۱-۳- خواص گرمایی

نانولوله‌های کربنی گرمای ویژه و هدایت گرمایی بسیار بالایی دارند. مقدار هدایت-گرمایی نانولوله‌ها بیش از هدایت گرمایی الماس است. هدایت گرمایی نانولوله‌های کربنی تک‌جداره بین 2000 W/mK تا 6000 W/mK [۷] و هدایت گرمایی نانولوله‌های کربنی چندجداره 3000 W/mK است [۸]. عواملی که بر هدایت-گرمایی نانولوله‌ها تأثیرگذار است شامل طول و شعاع نانولوله‌ها و دما است.

خواص ویژه نانولوله‌های کربنی باعث شده است تا مورد توجه و استفاده در صنایع و شاخه‌های مختلف علوم قرار بگیرد و هر روزه شاهد گزارشات جدیدی از به کارگیری این عنصر مهم در فناوری نانو باشیم. گرچه این کاربردها بسیار گسترده است، در ادامه برخی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین کاربردهای نانولوله‌های کربنی ذکر شده است.

۱-۲- کاربردهای نانولوله‌های کربنی

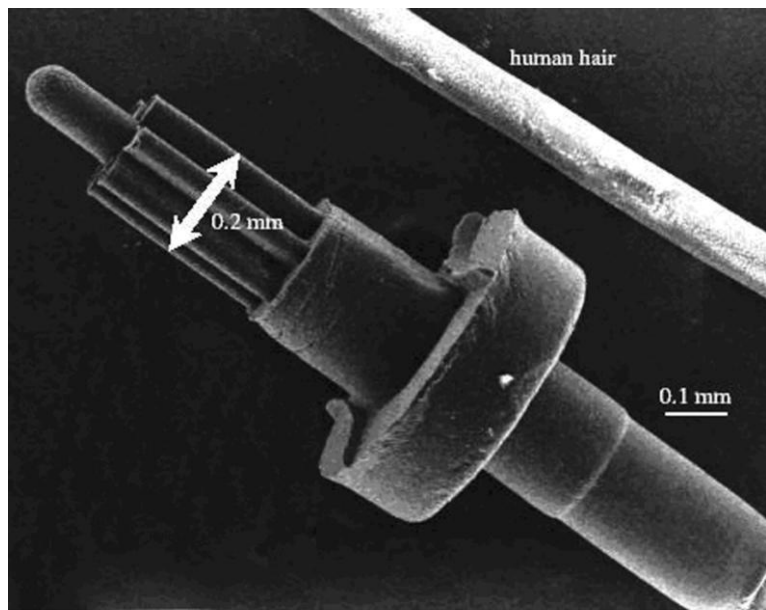
از زمان کشف نانولوله‌های کربنی تا کنون مطالعات نظری و آزمایشگاهی فراوانی برای بررسی خواص و کاربردهای این نانوساختار صورت گرفته است. در صورتی که تولید نانولوله‌های کربنی به صورت انبوه و اقتصادی صورت گیرد، مواد اصلی و اساسی مهندسی قرن ۲۱ خواهد بود.

۱-۲-۱- پرکننده در کامپوزیت‌ها^۱

نانولوله‌های کربنی با توجه به خواص ویژه به عنوان پرکننده در پلی‌مرها مورد استفاده قرار می‌گیرند و کامپوزیت‌هایی با خواص منحصر به فرد به وجود می‌آورند. مهم‌ترین فاکتور که باعث انتخاب نانولوله‌ها به عنوان پرکننده می‌شود، وزن کم آنهاست. اولین استفاده تجاری از نانولوله‌های کربنی چندجداره، در

^۱ Composite

کامپوزیت های پلیمری بوده است [۹]. با جایگزین کردن کربن سیاه موجود در لاستیک با نانولوله های کربنی، مقاومت در برابر لغزش، افزایش و میزان سایش تایلر کاهش یافته است [۱۰]. با مخلوط کردن نانولوله های کربنی با نایلون گداخته و تزریق در قالب های بسیار کوچک، قطعات نایلونی با مقاومت بسیار به خمش و سایش تولید شده است که نمونه ای از این قطعات بسیار ریز در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. این قطعات هدایت الکتریکی و گرمایی فوق العاده ای دارند [۱۱]. تزریق نانولوله های کربنی به پلاستیک نیز منجر به افزایش زیاد ضریب کشسانی در پلاستیک و استحکام آن می شود.



شکل ۱-۲- کوچک ترین دنده ساخته شده از ترکیب نانولوله های کربنی و نایلون [۱۱]

۱-۲-۲- حسگر

نانولوله ها قابلیت استفاده در حسگرها را نیز دارند. اندازه کوچک همراه با سطح ویژه زیاد، حساسیت زیاد، پاسخ سریع و برگشت پذیری مطلوب، استفاده از نانولوله ها را به عنوان حسگرهایی برای مولکول های گازی، ممکن ساخته است. مزیت اصلی این حسگرها کاهش اندازه حسگر در مقیاس نانو و مقدار بسیار کم نمونه مورد نیاز برای شناسایی است، به طوری که حساسیت به چند اتم از یک گاز خواهد بود. حتی در آزمایشات اخیر مشخص شده است مقاومت الکتریکی نانولوله های تک جداره با نوع گاز تغییر می کند، به عنوان مثال حساسیت نانولوله به گازهای دی اکسید نیتروژن، اکسیژن و آمونیاک متفاوت است و در عین حال به مولکول های گاز هیدروژن هیچ واکنشی نشان نمی دهد. شکل استوانه ای و قطر بسیار کوچک نانولوله ها استفاده از آنها را برای شناسایی در فضاهای عمیق و بسیار باریک ممکن ساخته است [۱۲]. نانولوله های کربنی هم چنین به عنوان سوزن در

پروب^۱ های اسکن در نوک میکروسکوپ های AFM^۲ و STM^۳ کاربرد گسترده ای پیدا کرده اند. حسگرهای زیستی بر مبنای نانولوله ها در حین فعالیت سلول، به سادگی و با دقت بسیار بالا اندازه گیری های لازم را انجام می دهند. استفاده از نانولوله ها به جز حساسیت، قدرت مکانیکی حسگر را نیز افزایش می دهد و تخریب حسگر در اثر فرسودگی لایه های زیرین را کاهش می دهد [۱۳].

۱-۲-۳- وسایل الکتریکی

یکی از زمینه های قابل پیشرفت در کاربرد نانولوله های کربنی، استفاده از آنها در زمینه نشر میدانی^۴ است. نشر میدانی، پخش الکترون ها از یک فلز یا نیمه رسانا به درون خلأ تحت تأثیر میدان الکتریکی است. نانولوله های کربنی با داشتن قطر بسیار کم، ساختار یکپارچه، انتقال الکتریکی بالا و پایداری شیمیایی، یکی از پرسودترین مواد برای استفاده در این زمینه هستند که استفاده از آنها در وسایل الکتریکی بر این مبنای رو به گسترش است [۱۴]. این وسایل شامل صفحات تخت نمایش^۵، لامپ ها و دستگاه های مولد اشعه ایکس و ماکروویو است. نانولوله ها نسبت به صفحات تخت نمایش دو جداره با محلول کریستال مایع^۶ مصرف برق کمتر، روشنایی بیشتر، زاویه دید گسترده تر، پاسخ سریع و سیستم عامل گسترده تری دارند. لامپ های مبتنی بر نانولوله ها با طول عمر بیش از ۸۰۰ ساعت می تواند جایگزین مناسبی برای لامپ های فلورسانت بر پایه جیوه که مشکل زیست محیطی دارند، باشند. جایگزینی نانولوله ها به جای صفحات فلزی در دستگاه های تقویت شدت نور، باعث افزایش ولتاژ و تولید اشعه ایکس به جای نور معمولی می گردد. با توجه به هندسه نانولوله ها می توان از این امواج برای آندوسکوپی و بررسی های پزشکی استفاده کرد [۱۵]. سوپرکازن های^۷ که شامل نانولوله ها هستند، ظرفیت بیشتری نسبت به خازن های معمولی دارند و در ساخت روبات ها استفاده می شوند. تشعشعات فلورسانس نانولوله های کربنی نیمه رسانا برای تحقیق در مورد بافت های زنده و خون به کار می رود [۹].

۱-۲-۴- حذف آلودگی

یکی دیگر از موارد استفاده از نانولوله ها، به عنوان جاذب آلودگی ها است. تاکنون کاربرد نانولوله ها برای حذف هیدروژن، آمونیاک، اوزن، نیتروژن و متان از هوا و یون های کادمیم، سرب، روی، فلوراید و تری هالومتان ها

¹ Probe

² Atomic force microscope

³ Scanning tunneling microscope

⁴ Field emission

⁵ Flat panel display

⁶ Liquid crystal display (LCD)

⁷ Supercapacitor

از آب گزارش شده است. بزرگ بودن سطح ویژه نانولوله ها، ویژگی مهم آنها برای جذب مواد است. از نانولوله های کربنی عامل دار شده به وسیله اسید برای جذب مولکول های قطبی و سبک وزن استفاده می شود. ساخت فیلترهایی از نانولوله ها هم برای حذف هیدروکربن های سنگین و روغنی گزارش شده است [۱۶].

۱-۲-۵- انرژی

نانولوله های کربنی به عنوان موادی که قابلیت ذخیره انرژی را دارا هستند، در مباحث مربوط به انرژی جایگاه ویژه ای دارند. امروزه تولید و استفاده از سوخت های تمیز مانند هیدروژن برای تولید انرژی بسیار حیاتی است. اما مشکل اصلی در این راستا ذخیره سازی ایمن و با صرفه هیدروژن به عنوان سوخت و سایل نقلیه است. ذخیره سازی هیدروژن با روش های فیزیکی مانند فشرده سازی و تبدیل گاز هیدروژن به مایع یا ترکیبات هیدریدی نیاز به صرف انرژی و هزینه زیادی دارد. خاصیت موینگی نانولوله های کربنی تک جداره باعث افزایش خاصیت جذب گاز هیدروژن و ذخیره سازی آن در این ساختار شده است. مهم ترین مزیت استفاده از نانولوله، ذخیره سازی هیدروژن به شکل ایمن است. بر اساس تحقیقات صورت گرفته در دمای پایین و با استفاده از نانولوله هایی با قطر بزرگ می توان به ظرفیت های ذخیره سازی هیدروژن بالای ۶ درصد وزنی دست یافت. با اعمال فشارهای زیاد می توان این مقدار را به ۹/۶ درصد نیز افزایش داد. به تازگی با این روش مولکول های کوچک آلکانی نیز در نانولوله های تک جداره ذخیره شده است. ورود به نانولوله ها از طریق تخلخل های بسیار ریز موجود در حلقه های شش ضلعی و در صورت باز بودن انتهای آنها، امکان پذیر است. البته مشکل اصلی استفاده از نانولوله ها، سد انرژی بسیار زیاد برای ورود این گاز به درون نانولوله ها است [۱۷]. کاربرد دیگر نانولوله ها در زمینه انرژی مربوط به استفاده از این مواد در پیلها و باتری ها است. پیل های سوختی^۱ به دلیل نوع سیستم تولید انرژی که از واکنش بین اکسیژن و هیدروژن استفاده می کند، به عنوان وسایل تولید انرژی مورد توجه خاصی قرار گرفته است. در دهه های اخیر از گرافیت و ترکیبات کربنی مشابه در این سلول ها استفاده شده است. بازده این سلول ها، با توجه به سرعت انتقال الکترون در الکترودهای کربنی مشخص می شود. با استفاده از نانولوله ها این انتقال بسیار سریع تر رخ می دهد که این افزایش کارایی، به ابعاد کوچک، سطح صاف و سطح ویژه عالی نانولوله ها نسبت داده می شود. به کار گرفتن نانولوله های کربنی در الکترودهای لیتیوم، علاوه بر افزایش بازده به میزان دو برابر، قدرت مکانیکی الکترودها را نیز به دلیل شبکه کریستالی خاص بهبود می بخشد. بالا بودن نسبت طول به قطر نانولوله های کربنی و ساختار یک بعدی آنها، استفاده از این مواد را در سلول ها و باتری های خورشیدی امکان پذیر کرده است [۱۸]. نانولوله ها به

^۱Fuel cell

دلیل هدایت گرمایی بسیار بالا، به عنوان فاز جامد در تهیه نانوسیال ها^۱ نیز به کار گرفته شده است. نانوسیال های حاوی نانولوله های کربنی، بیشترین میزان افزایش هدایت گرمایی را در مقایسه با سایر نانوسیال ها نشان می دهند. در ادامه به منظور آشنایی بیشتر با نانوسیال ها توضیحات مفصل تری داده شده است.

۱-۳- نانوسیال

اغلب سیالات معمول در سیستم های سرمایشی و خنک کننده مانند آب، اتیلن گلیکول و روغن موتور هدایت گرمایی بسیار کمی دارند که مانع کاربرد گسترده آنها در وسایل گرمایی شده است و نیاز ضروری برای توسعه یک راهکار جدید به منظور افزایش توان حرارتی این سیال ها احساس می شود. از سوی دیگر اغلب جامدات به ویژه فلزات هدایت گرمایی بسیار بالاتری نسبت به سیال های معمول دارند. بنابراین میتوان انتظار داشت که سیالات حاوی ذرات جامد افزایش قابل توجهی در هدایت گرمایی داشته باشند. تحقیقات آزمایشگاهی و نظری صورت گرفته در این زمینه در صد سال اخیر، نشان دهنده افزایش هدایت گرمایی سیالات با افزودن ذرات کوچک فلزی است. ابتدا این فرایند با ذرات جامد در مقیاس میلی متری و میکرومتری شروع شد ولی استفاده از این ذرات به دلیل مشکلاتی مانند ته نشینی سریع ذرات و انسداد و خوردگی مجاری در سیستم های خنک کننده و عدم کاربرد در سیستم های انتقال حرارت میکرونی با اقبال زیادی رو به رو نشد. با توسعه فناوری نانو و تولید نانوذرات، این ذرات جایگزین مناسبی برای ذرات میکرو به نظر می رسیدند. چوی^۲ از بخش انرژی آزمایشگاه ملی آرگون^۳ امریکا اولین بار در سال ۱۹۹۵ نانوسیال را به عنوان محیط جدید انتقال حرارت معرفی کرد [۱۹]. نانوسیال ها از تعلیق ذرات و یا فیبرهای جامد در مقیاس نانومتری (۱ تا ۱۰۰ نانومتر) در سیالات متداول صنعتی به دست می آیند. در ابتدای پیدایش نانوسیال ها، از نانوذرات فلزی برای تولید این سیالات استفاده بیشتر می شد ولی با تولید ذرات اکسید فلزی و نانولوله های کربنی این مواد نیز به شکل گسترده مورد استفاده قرار می گیرند. البته توجه به این نکته ضروری است که تعلیق ذرات جامد در سیال باید کاملاً همگن باشد. برای تهیه نانوسیال ها عموماً از دو روش کلی استفاده می شود. روش تک مرحله ای، که در آن ذرات مورد نظر به طور مستقیم در درون سیال تهیه و پراکنده می شود. به عنوان مثال برای تهیه نانوذرات اکسید فلزی درون سیال، بخار فلز مستقیماً به درون سیال پایه هدایت می شود. روش دیگر تهیه نانوسیال، روش دو مرحله ای است. در این روش ابتدا نانوذره مورد نظر تولید می شود و سپس به سیال پایه افزوده می شود [۲۰]. روشهای آماده سازی، خواص و کاربردهای این دسته از سیالات یکی از مهم ترین زمینه های تحقیقاتی

¹ Nanofluid

² Choi

³ Argonne National Laboratory