بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

بررسی تجربی تاثیر میدان مغناطیسی ثابت و متناوب بر ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی اتیل گلایکول/Fe_3O_4

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

حامد کریمی خوزانی

استاد راهنما

دکتر نسرین اعتصامی

۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی شیمی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی شیمی آقای حامد کریمی خوزانی

تحت عنوان

بررسی تجربی تاثیر میدان مغناطیسی ثابت و متناوب بر ویسکوزیته نانوسیال اتیلن گلایکول/Fe_3O_4

در تاریخ ۹۱/۱۲/۲۰ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر نسرین اعتصامی
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر محسن نصر اصفهانی
۳- استاد داور	دکتر مسعود حق شناس فرد
۴- استاد داور	دکتر طیبه بهزاد
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر حمید زیلویی

بر خود لازم می‌دانم که از توجه، راهنمایی و تشویق اساتید ارجمند دکتر نسرین اعتصامی دکتر محسن نصر اصفهانی و کلیه دوستانی که مرا در انجام این مطالعه یاری کردند سپاسگزاری کنم.

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

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده ۱

فصل اول : مقدمه

مقدمه ۲

فصل دوم : مروری بر مطالعات انجام شده

۲-۱- مقدمه ۵
۲-۲- نانوسیال ۵
۲-۲-۱- جنس سیال پایه و نانو ذرات ۶
۲-۲-۲- اندازه و شکل نانوذرات ۶
۲-۲-۳- کاربردهای نانوسیال ۷
۲-۲-۴- تهیه نانوسیال ۸
۲-۲-۵- پایدار کردن نانوسیال ۱۰
۲-۳- ویسکوزیته سیال و روش های اندازه گیری آن ۱۱
۲-۳-۱- ویکسومتر لوله موئین ۱۱
۲-۳-۲- رئومترها (ویسکومترهای چرخشی) ۱۲
۲-۴- ویسکوزیته نانوسیال ۱۳
۲-۴-۱- تاریخچه مختصری از روابط ویسکوزیته نانوسیال ۱۳
۲-۴-۲- مروری بر مطالعات انجام گرفته در مورد تاثیر غلظت نانوذرات بر ویسکوزیته نانوسیال ۱۵
۲-۴-۳- مطالعات انجام گرفته در مورد تاثیر اندازه ذرات برروی ویسکوزیته ۱۹
۲-۵- نانوسیال مغناطیسی ۲۰
۲-۵-۱- مواد مغناطیسی ۲۰
۲-۵-۲- تعریف نانوسیال مغناطیسی ۲۲
۲-۵-۳- کاربرد نانوسیال مغناطیسی ۲۲
۲-۶- بررسی نانوسیال تحت تاثیر میدان مغناطیسی ۲۴
۲-۶-۱- اعمال میدان مغناطیسی ۲۴
۲-۶-۲- تئوری جنبشی و حرکت براونی ۲۵
۲-۶-۳- تشکیل ساختارهای زنجیره ای شکل ۲۷
۲-۶-۴- اشباع مغناطیسی فروسیال ۲۸
۲-۶-۵- آرامش مغناطیسی ۲۹
۲-۷- ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی تحت تاثیر میدان مغناطیسی ۳۰

۲-۷-۱- نیروهای وارده از طرف میدان مغناطیسی بر ذرات مغناطیسی و اثر آن بر حرکت چرخشی ذرات ۳۰
۲-۷-۲- مطالعات انجام گرفته برروی اثرپذیری ویسکوزیته نانوسیال از میدان مغناطیسی ۳۰
۲-۷-۳- تاثیر قطر ذرات بر روی مغناطیس شوندگی ۳۶
۲-۸- هدف از انجام تحقیق ۳۷

فصل سوم : روش انجام آزمایش

۳-۱- مقدمه ۳۹
۳-۲- سیستم آزمایشگاهی ۴۰
۳-۳- ویسکومتر لوله موئین ۴۱
۳-۴- اعمال میدان مغناطیسی موازی با جهت حرکت سیال ۴۱
۳-۵- بررسی رفتار رئولوژیکی نانوسیال ۴۳
۳-۶- تهیه نانوسیال ۴۳
۳-۷- روش انجام آزمایش ۴۵

فصل چهارم : بررسی و تحلیل نتایج

۴-۱- مقدمه ۴۶
۴-۲- بررسی رفتار رئولوژیکی نانوسیال ۴۶
۴-۳- بررسی دقت دستگاه ۴۷
۴-۴- تاثیر غلظت نانوذرات روی ویسکوزیته نانوسیال ۴۸
۴-۴-۱- مقایسه داده های ویسکومتر بروکفیلد و لوله موئین ۵۱
۴-۵- تاثیر میدان مغناطیسی ثابت بر ویسکوزیته نانوسیال ۵۲
۴-۵-۱- میدان مغناطیسی ثابت و هم سو با جهت حرکت نانوسیال ۵۲
۴-۵-۲- میدان مغناطیسی ثابت اعمال شده در خلاف جهت حرکت نانوسیال ۵۷
۴-۶- تاثیر مدت زمان اعمال میدان مغناطیسی ثابت ۵۹
۴-۷- تاثیر میدان مغناطیسی متناوب بر ویسکوزیته نانوسیال ۶۰

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۶۲
۵-۲- پیشنهادات ۶۳

پیوست : آنالیز خطا

۱- مقدمه ۶۴
۲- محاسبه عدم قطعیت ۶۴

مراجع ۶۷

چکیده

ویسکوزیته به عنوان یکی از خواص مهم سیال‌ها به شمار می‌رود که تاثیر مستقیم بر نیروی لازم برای پمپاژ سیال دارد و همچنین با تاثیر بر عدد بدون بعد پرانتل، در انتقال حرارت نیز نقش دارد. اما بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه نانوسیال، به بررسی خصوصیات انتقال حرارت آن اختصاص یافته است و تحقیقات چندان زیادی در مورد ویسکوزیته نانوسیال انجام نگرفته است. در این تحقیق سیال اتیلن گلایکول حاوی نانوذرات مغناطیسی Fe_3O_4، از نظر خواص حرکتی مورد آزمایش قرار گرفته است. همچنین تاثیر میدان مغناطیسی ثابت و موازی با جهت جریان و نیز میدان مغناطیسی متناوب بر روی ویسکوزیته، مورد بررسی قرار گرفته است. اندازه‌گیری ویسکوزیته به وسیله ویسکومتر لوله موئین طراحی شده انجام گرفت و میدان مغناطیسی مورد نیاز از طریق سیم لوله تامین شد. در ابتدای آزمایشات به منظور بررسی صحت عملکرد ویسکومتر ساخته شده، مقادیر ویسکوزیته به دست آمده از آن برای سیال پایه در دماهای مختلف با داده‌های موجود در مراجع مقایسه شد و خطای میانگین آن به دست آمد. همچنین برای بررسی رفتار رئولوژیکی نانوسیال، تنش برشی آن در نرخ برش‌های متفاوت توسط ویسکومتر بروکفیلد اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده، رفتار نیوتنی نانوسیال را نشان داد. علاوه بر این مقادیر ویسکوزیته به دست آمده از ویسکومتر بروکفیلد با ویسکومتر لوله موئین مقایسه شد و تطابق خوبی بین آن‌ها مشاهده شد. طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده برای ویسکوزیته نانوسیال‌های با غلظت ۰/۰۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۳۵ درصد حجمی، مشاهده شد که با اضافه کردن نانوذرات، ویسکوزیته کاهش می‌یابد. با اعمال میدان مغناطیسی ثابت و موازی با جهت جریان، کاهش ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی مشاهده شد. این کاهش برای نانوسیال با غلظت ۰/۰۱۵ درصد حجمی مشهودتر است. با افزایش زمان اعمال میدان برای غلظت ۰/۰۳۵ درصد حجمی، ویسکوزیته نانوسیال کاهش یافته و پس از یک بازه زمانی به مقدار ثابتی میل می‌کند که حاکی از اشباع مغناطیسی نانوسیال می‌باشد. با تغییر جهت میدان مغناطیسی ثابت و موازی با جهت حرکت سیال، تغییری در نتایج به دست آمده دیده نشد. نتایج حاصل از اعمال میدان مغناطیسی متناوب نشان داد که حتی برای بالاترین غلظت نانوسیال تهیه شده در این تحقیق، اعمال میدان مغناطیسی اثری بر ویسکوزیته اتیلن گلایکول-Fe_3O_4 ندارد. همچنین افزایش زمان اعمال میدان نیز تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر ویسکوزیته نمی‌گذارد.

کلمات کلیدی: نانوسیال مغناطیسی، نانوسیال اتیلن گلایکول-Fe_3O_4، ویسکوزیته، میدان مغناطیسی، ویسکومتر لوله مویین

فصل اول
مقدمه

سیال‌ها کاربرد بسیار مهم و وسیعی در صنایع مختلف دارند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای آن‌ها استفاده به عنوان عامل انتقال دهنده حرارت می‌باشد. با توجه به این استفاده گسترده، انتقال سیال در سیستم مورد استفاده و نیروی لازم جهت پمپاژ سیال مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین ویسکوزیته سیال به عنوان عامل مقاومت کننده در مقابل حرکت سیال از اهمیت خاصی برخوردار شده است. استفاده از سیال‌های با ویسکوزیته کمتر به کاهش نیروی لازم جهت پمپاژ و همچنین کاسته شدن هزینه‌ها کمک می‌کند.

هدف اولیه و اصلی از تولید نانوسیال، استفاده از آن به عنوان سیال انتقال دهنده حرارت می‌باشد. استفاده از نانوسیال، در ادامه استفاده از سوسپانسیون‌ها مورد توجه قرار گرفته است. نانوسیال، سیالی است که از پراکنده کردن ذرات با قطر معادل ۱۰۰-۱ نانومتر درسیال پایه به دست می‌آید. از مزیت‌های نانوسیال نسبت به سوسپانسیون می‌توان به عدم سایش قطعات، عدم انسداد مسیرهای انتقال، پایداری بیشتر، افزایش سطح انتقال حرارت و کاهش توان مورد نیاز برای پمپاژ نام برد. با توجه به اهمیت کاربرد نانوسیال، ویسکوزیته آن نیز مورد توجه قرار گرفته است. ویسکوزیته با تاثیر بر عدد بدون بعد پرانتل، بر روی انتقال حرارت تاثیر دارد. ویسکوزیته همچنین با افزایش افت فشار، اثر مستقیم بر میزان نیروی لازم جهت پمپاژ سیال دارد. در کاری که توسط پراشر و همکاران [۱] در سال ۲۰۰۶ بر روی نانوسیال حاوی نانوذرات آلومینا انجام شده است؛ تاثیر اضافه کردن نانوذرات بر روی ویسکوزیته، چهار برابر اثر آن بر ضریب انتقال حرارت ذکر شده است. این موضوع می‌تواند نشان دهنده اهمیت بررسی ویسکوزیته باشد.

براساس آزمایشات انجام شده در مطالعات پیشین، دو عامل اصلی غلظت و اندازه نانوذرات بر ویسکوزیته نانوسیال اثر می‌گذارند [۲].

بیشتر تحقیقات انجام شده بر روی ویسکوزیته نانوسیال، افزایش ویسکوزیته را در اثر اضافه کردن نانوذرات نشان می‌دهند. این موضوع می‌تواند تاثیر منفی بر هزینه‌های برآورد شده داشته باشد. همچنین اغلب کارهای انجام شده بر روی اندازه ذرات نشان می‌دهد که افزایش اندازه ذرات باعث کاهش ویسکوزیته می‌شود [۱،۳،۴،۵،۶،۷].

با توجه به کاربرد زیاد سیال‌هایی مانند آب، کروسین، اتیلن گلایکول و روغن‌های صنعتی در صنعت، در بیشتر تحقیقات از این سیال‌ها به عنوان سیال پایه نانوسیال استفاده شده است. ولی در مورد نانوذرات، طیف گسترده‌ای از مواد فلزی، غیر فلزی و همچنین نانولوله‌های کربنی مورد استفاده قرار گرفته است.

مدل‌های زیادی برای پیش‌بینی ویسکوزیته نانوسیال‌ها به دست آمده است. از جمله این مدل‌ها می‌توان به روابطی که توسط پاک و بچلر[1] پیشنهاد شده است اشاره کرد. نقص این روابط این است که تمامی آن‌ها تنها بر اساس غلظت حجمی نانوذرات نوشته شده و تاثیر اندازه ذرات و دما در آن‌ها در نظر گرفته نشده است. همچنین این روابط معمولا برای نانوسیالی خاص نوشته شده است و برای بقیه مواد قابل تعمیم نمی‌باشد [۲]. بنابراین نیاز به انجام کارهای تجربی بیشتر در این زمینه هنوز احساس می‌شود.

اگر نانوذرات مورد استفاده در نانوسیال، خاصیت مغناطیسی داشته باشند؛ به این نانوسیال، نانوسیال مغناطیسی گفته می‌شود. نانوسیال‌های مغناطیسی از دسته نانوسیال‌های هوشمندی هستند که به دلیل تاثیرپذیریشان در میدان‌های خارجی، رفتارهای منحصر به فردی از خود نشان می‌دهند. این موضوع سبب شده که توجه ویژه‌ای به این نانوسیال‌ها شود.

در دهه‌های اخیر، تحقیقاتی در مورد اثر میدان مغناطیسی بر روی ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی انجام شده است که نتایج متفاوتی به همراه داشته است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که عواملی چون جهت میدان اعمالی، غلظت و اندازه ذرات بر روی ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی موثر هستند.

هدف از انجام این تحقیق

در این مطالعه، ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی اتیلن گلایکول- Fe_3O_4 مورد بررسی قرار گرفته است. پیش از این در تحقیقی که توسط خانم منجمی[۸ و۹] انجام گرفته است؛ ویسکوزیته این نانوسیال تحت میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی ثابت و عمود بر جهت حرکت جریان مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه کار خانم منجمی، تحقیق حاضر به بررسی اثر میدان مغناطیسی ثابت و متناوب موازی با جهت حرکت سیال بر روی ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی اتیلن گلایکول- Fe_3O_4 می‌پردازد. این تحقیق اولین کار تجربی در زمینه بررسی ویسکوزیته نانوسیال اتیلن گلایکول- Fe_3O_4 تحت میدان مغناطیسی متناوب می‌باشد. باتوجه به کاربرد فراوان سیال اتیلن گلایکول و افزایش قابل توجه انتقال

[1] Pak & Bachelor

حرارت آن با اضافه شدن نانوذرات؛ بررسی ویسکوزیته این نانوسیال می‌تواند در جهت استفاده بهتر آن در صنعت، مفید واقع شود.

محتوای رساله

در فصل دوم این پایان‌نامه، مفاهیم، فرمول‌ها و تعریف‌های مربوط به نانوسیال، ویسکوزیته و مغناطیس شوندگی نانوسیال مغناطیسی بیان شده است. همچنین طریقه اعمال میدان مغناطیسی توسط سیم لوله و معادلات حاکم بر آن توضیح داده شده است. در ادامه به مرور مطالعات انجام شده در زمینه ویسکوزیته نانوسیال و همچنین ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی تحت میدان مغناطیسی پرداخته می‌شود.

در فصل بعدی این پژوهش، دستگاه اندازه‌گیری ویسکوزیته، روش ساخت نانوسیال و نحوه اعمال میدان مغناطیسی بیان شده است. در سری اول آزمایشات انجام گرفته، به منظور بررسی رفتار رئولوژیکی نانوسیال، ویسکوزیته نانوسیال با غلظت‌های حجمی متفاوت در دمای مرجع توسط ویسکومتر بروکفیلد اندازه‌گیری شد. در ادامه آزمایشات ویسکوزیته سیال پایه در دماهای مختلف اندازه‌گیری شد تا با مقایسه‌ی نتایج به دست آمده با داده‌های مرجع، میزان صحت عملکرد ویسکومتر لوله موئین ساخته شده مشخص شود. سپس ویسکوزیته این نانوسیال‌ها درحضور میدان مغناطیسی ثابت و متناوب موازی با جهت جریان مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل چهارم این رساله به بیان نتایج و همچنین توضیح و تفسیر آن‌ها و ارائه نمودار و جدول اختصاص یافته است. در فصل پنجم نتایج کلی حاصل از این پژوهش و پیشنهادهایی که می‌توان در ادامه این تحقیق داشت آورده شده است.

فصل دوم

مروری بر مفاهیم و مطالعات انجام شده

۲-۱ مقدمه

این فصل از پروژه اختصاص به بیان مفاهیمی چون نانوسیال، ویسکوزیته، میدان مغناطیسی، حرکت براونی و مواد مغناطیسی دارد. همچنین نحوه اعمال میدان مغناطیسی و تاثیر آن بر نانوذرات مغناطیسی موجود در سیال مورد بحث قرار می‌گیرد. علاوه بر این مطالعاتی که در مورد ویسکوزیته نانوسیال و همچنین ویسکوزیته نانوسیال مغناطیسی تحت میدان مغناطیسی انجام شده است مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲ نانوسیال

واژه نانوسیال در ابتدا توسط چوی[1] [۱۰] در سال ۱۹۹۵ به کار رفت وطبق تعریف به سیالی گفته می شود که حاوی ذراتی با قطر معادل ۱۰۰-۱ نانومتر باشد. هدف اولیه و اصلی از تولید نانوسیال، استفاده از آن به عنوان سیال انتقال حرارت می‌باشد. بدین منظور ترجیحا از ذرات فلزی یا غیرفلزی با هدایت گرمایی بالا در سیال‌های رایج به عنوان عامل انتقال حرارت استفاده می شود. پیش از دستیابی به تکنولوژی تولید نانو ذرات، استفاده از سوسپانسیون های حاوی میکروذرات به عنوان سیال انتقال حرارت مورد نظر بود که به دلیل مشکلات اساسی نتوانست عملی شود. از جمله مشکلات آن‌ها می‌توان به ناپایداری سوسپانسیون به دلیل قطر زیاد ذرات، انسداد کانال های عبور سیال و سایشی که این ذرات در دستگاه ایجاد می کردند اشاره کرد. تولید نانوذرات و استفاده از نانوسیال، کاهش این مشکلات و همچنین مزایایی چون افزایش سطح انتقال حرارت و کاهش توان پمپ را به همراه داشت.

[1] Choi

۲-۲-۱ جنس سیال پایه و نانو ذرات

با توجه به این که هدف اولیه و اساسی از تولید نانوسیالات بهبود انتقال حرارت می باشد، بیشتر سیالاتی که به عنوان سیال پایه استفاده می شوند در صنایع انتقال حرارت کاربرد دارند. از مهم ترین آن ها می توان به آب، اتیلن گلایکول، روغن صنعتی، کروسین و مخلوط آن ها اشاره کرد.

نانو ذرات مورد استفاده برای ساخت نانوسیال نیز همچون سیال پایه از بین موادی انتخاب می شوند که ضریب انتقال حرارت مناسبی داشته باشند. در کنار آن به خواص دیگری همچون پایدرای ذرات در نانوسیال، چگالی و اندازه ذرات نیز توجه می شود. از نانوذراتی که تاکنون برای ساخت نانوسیال استفاده شده است می توان به اکسیدهای فلزی چون Al_2O_3 و CuO ، نیتریدهای سرامیکی چون AlN و SiN ، کاربید[1]های سرامیکی چون TiC و SiC، فلزاتی چون نقره، طلا، مس و آهن، نانولوله های کربنی یک، دو یا چند دیواره ای مثل SWCNT، DWCNT و MWCNT و مواد ترکیبی چون ترکیبات هسته نانوذره- پوسته پلیمر[2] اشاره کرد. نانوتیوب‌های کربنی اخیراً به دلیل خصوصیات فوق‌العاده حرارتی، الکتریکی و مکانیکی توجه زیادی را به خود جلب کرده اند. هدایت حرارتی ذاتی بالا و چگالی پایین نانولوله های کربن در مقایسه با فلزات و هم چنین بالا بودن نسبت طول به قطر این ذرات، آن ها را برای محققین بسیار جذاب کرده است. از نانوسیال‌های دیگری که در دهه‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند، می‌توان به نانوسیال‌های مغناطیسی اشاره کرد. این نوع از نانوسیال به دلیل خاصیت مغناطیسی ذراتش دارای خواص منحصر به فردی است و به عنوان یک سیال هوشمند می‌توان برخی خصوصیاتش را تحت تاثیر میدان‌های خارجی کنترل کرد.

۲-۲-۲ اندازه و شکل نانوذرات

با توجه به تعریف نانوسیال، نانو ذرات مورد استفاده در نانوسیال دارای قطری کمتر از ۱۰۰ نانومتر هستند. ولی در تحقیقاتی که تاکنون انجام گرفته از نانوذرات با قطر۱۰ نانومتر نیز استفاده شده است [۱۱]. شکل (۲-۱) توزیع غلظت نانوسیال بر حسب قطر نانوذرات مورد استفاده در آزمایشات تا پیش از سال ۲۰۰۴ را نشان می‌دهد. اغلب نانوذرات به صورت کروی تولید می شوند ولی نانو ذرات لوله ای و میله ای شکل نیز مورد استفاده قرار می گیرند. این شکل از ذرات قطر کمتر از ۱۰۰nm دارند ولی طول آن ها ممکن است حتی در مقیاس میکرومتر باشد. اگر این ذرات تشکیل خوشه دهند، این خوشه ها می توانند از اندازه‌های میکرومتری باشند و منجر به ناپایداری نانوسیال شوند.

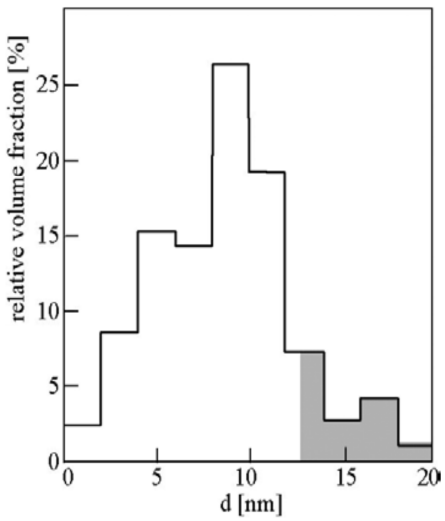
---

[1] carbide
[2] Nanoparticle core – polymer shell

۲-۲-۳ کاربردهای نانوسیال

الف) حمل و نقل:

مخلوط آب و اتیلن گلایکول شناخته شده‌ترین خنک کننده خودرو است که نسبت به آب خالص انتقال حرارت ضعیف‌تری دارد. علاوه بر این روغن های موتور عملکرد حرارتیشان از حد متوسط نیز پایین تر است. بنابراین استفاده از نانوسیال می‌تواند باعث افزایش انتقال حرارت و در نتیجه کوچک‌تر شدن رادیاتورها و کارایی بهتر موتور خودرو شود. البته استفاده از نانو ذرات موانعی چون ته نشینی، سایش و تجمع ذرات را نیز بر سر راه خود دارد. ژنگ[1] و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۰۵ نانوذرات اکسید مس و اکسید آلومینیوم را در روغن موتور پراکنده کردند و انتقال حرارت آن را در شرایط مشابه با گشتاورهای موتور بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که نانوسیال حاوی اکسید مس کمترین دمای انتقال حرارت را دارد و عملکرد انتقال حرارت را به میزان قابل توجهی بالا می برد.



شکل ۲-۱: توزیع غلظت نانوسیال برحسب قطر نانوذرات مورد استفاده در آزمایشات تا پیش از سال ۲۰۰۴ [۱۲]

ب) خنک کننده لوازم الکتریکی

امروزه با کوچکتر شدن پردازش‌گرهای الکترونیکی، نیاز به خنک کننده هایی با کارآیی بالا، بیشتر احساس می‌شود. استفاده از فن‌ها محدودیت های خاص خود را دارد. تاکنون سعی بر استفاده از میکروکانال ها به همراه سیال‌هایی با قدرت انتقال حرارت بالا همچون آب در این زمینه صورت گرفته است. در این صنعت نیز استفاده از نانوسیال‌های خنک کننده می تواند در دستگاه هایی همچون لپ تاپ‌ها و سوپرکامپیوترها کاربردی باشد. همچنین می توان دستگاه‌های الکترونیکی

[1] Tzeng

مورد استفاده در فضا را با استفاده از نانوسیال خنک کرد و بسیاری از هزینه ها را از طریق کاهش لوازم خنک کننده و کاهش وزن دستگاه های مورد استفاده در فضا کم کرد.

پ) درمان بیماری ها

نانوسیال ها می توانند کاربردهای زیادی در حوزه سلامت داشته باشند. از جمله مهمترین آن ها در زمینه درمان سرطان است. نانوذرات با پایه آهن می توانند به عنوان منتقل کننده داروها و تشعشع ها به سلول‌های سرطانی عمل کنند. انتقال آن‌ها به صورت انتخابی است و به بافت‌های مجاور آسیبی نمی زنند. همچنین از نانوسیال می‌توان برای بالا بردن دما در اطراف تومور به منظور کشتن سلول‌های سرطانی استفاده کرد [۱۴].

ت) سایر کاربردها

با توجه به بالا بودن ضریب انتقال حرارت نانوسیال می توان از آن‌ها در وسایل و ماشین‌های کوچک در ابعاد میکرو و نانو، تحت عنوان MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) و همچنین در ساخت میکروتوربین‌ها، میکروموتورها، میکرومبدل‌های حرارتی و دیگر تجهیزات در ابعاد میکرو و نانو استفاده کرد. نانوسیال همچنین در آینه‌ها و مونوکروماتورهای پیشرفته اشعه X و تولید فوتون کاربرد دارد. پرتو X ایجاد حرارت زیادی می‌کند که نیاز به سرمایش W/cm^2 ۳۰۰-۲۰۰۰ دارد و این امر با به کار بردن نانوسیال در میکروکانال امکان پذیر است [۱۵].

۲-۲-٤ تهیه نانوسیال

دانش فنی جدید، امکان ساخت مواد در مقیاس نانومتر را فراهم کرده است. نانو ذرات تولید شده، نسبت به مقیاس میکرون و بزرگتر از آن موادی با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد هستند. فرآیند تولید نانوذرات دارای دو شاخه اصلی است.

الف) فرآیندهای فیزیکی

ب) فرآیندهای شیمیایی

روش های فیزیکی معمول شامل روش ساییدن فیزیکی و میعان گاز خنثی می‌باشد. روش های شیمیایی شامل رسوب گیری شیمیایی، رسوب دادن شیمیایی بخار، میکروامولسیون ها، اسپری پیرولیز و اسپری کردن حرارتی می‌باشد. همچنین یک روش مونوشیمیایی توسط کنت و همکارانش [۱۵] اختراع شده است که نانو ذرات آهن را به وسیله اولئیک اسید پایدار می کند.

اغلب نانوذرات به شکل پودر تولید می‌شوند. به دلیل این که در این حالت نانو ذرات را می‌توان در آب و یا مایعات ارگانیک پراکنده کرد و نانوسیالی با کاربرد خاص به دست آورد. اتیلن گلایکول، آب و کروسین از جمله سیال‌های پایه مورد کاربرد برای تهیه نانوسیال می‌باشند.

دو روش اصلی برای تولید نانوسیال وجود دارد، روش تک مرحله‌ای و روش دو مرحله‌ای .

الف) روش تک مرحله ای

این روش برای نانوسیال‌هایی که دارای فلزاتی با ضریب هدایت بالا مانند مس هستند کاربرد بیشتری دارد و نسبت به روش دو مرحله‌ای ترجیح داده می‌شود تا از اکسید شدن ذرات جلوگیری شود. در این تکنیک نانوذرات در یک فرآیند تک مرحله‌ای، تشکیل و در سیال پراکنده می‌شوند. در این روش، تبخیر مستقیم به کار می‌رود تا نانو ذراتی مثل مس بدون اینکه تجمع داشته باشند در سیالی مانند اتیلن گلایکول به صورت پایدار پراکنده شوند. در ادامه در یک محفظه خلاء، مس موجود در فاز بخار به صورت مستقیم در یک جریان بخار فشار پایین از اتیلن گلایکول به صورت پودر چگالش یافته در می‌آید.

جانگ و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۰۵ در یک روش تک مرحله‌ای دیگر، نانوذرات را به وسیله حرارت دادن به یک ماده جامد از طریق قوس الکتریکی به وجود آورده و سپس با میعان آن در یک محفظه خلاء، نانوسیال را تولید کردند.

روش تک مرحله‌ای به دلیل هزینه بالا، آهسته بودن فرآیند و همچنین نیاز آن به امکاناتی که کمتر در دسترس است، کاربرد کمتری نسبت به روش دو مرحله ای دارد.

ب) روش دو مرحله ای

مهمترین مزیت این روش اقتصادی بودن آن نسبت به روش تک مرحله‌ای است. در این روش نانو ذرات با روش چگالش گاز خنثی، تولید می‌شوند. این پودرها به دلیل تولید در مقادیر زیاد، با قیمت تمام شده پایینی در دسترس می‌باشند. با پراکنده کردن این ذرات در سیال پایه می‌توان نانو سیال را به دست آورد. نکته مهم در تهیه نانوسیال به روش دو مرحله‌ای این است که نانوسیالی تهیه شود که مشکل تجمع ذرات در آن وجود نداشته باشد. زیرا با توجه به طول زمانی که برای پراکنده سازی کامل نیاز است و همچنین تمایل ذرات به تجمع، احتمال بروز این مشکل افزایش می‌یابد. این تمایل به دلیل وجود نیروی جاذبه واندروالسی بین ذرات می باشد [۱۵]. برای مقابله با این مشکل باید نانوذرات را با راهکارهای مناسب به خوبی در سیال پایه پراکنده کرد که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

پ) روشهای دیگر

خارج از دو قالب اصلی روش های تک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای، روش‌های دیگری نیز وجود دارد. این روش‌ها وابسته به ترکیب مواد نانوذره و سیال هستند. برای مثال نانوذراتی با هندسه ، دانسیته، تخلخل، بار و سطح شیمیایی مشخص می‌توانند به وسیله ی ته‌نشینی الکترولیزی فلز، سوار کردن لایه به لایه، خشک کردن ریزقطره ای و روش های شیمی کلوئیدی دیگر ساخته شوند. البته این روش‌ها بیشتر به صورت موردی و آزمایشگاهی هستند.

۲-۲-۵ پایدار کردن نانوسیال

در حین ساخت نانوسیال، ذرات به دلیل وجود نیروهای جاذبه واندروالسی، تشکیل کلوخه می دهند. این کلوخه‌ها ته نشین شده و پایداری نانوسیال را بر هم می‌زنند. در ادامه به چهار روش برای ایجاد پایداری در نانوسیال اشاره می‌شود.

الف) تغییر pH سوسپانسیون

برای هر نوع ذره یک pH معین وجود دارد که در این pH نیروهای دافعه بین ذرات صفر بوده و ذرات بیشترین تمایل برای به هم پیوستن را در این حالت دارا می باشند. این pH ، pH نقطه ایزوالکتریک نام دارد. با دور شدن از این pH ، نیروهای الکترواستاتیکی بین ذرات بیشتر شده و به پایداری بیشتر سوسپانسیون کمک می‌شود.

ب) استفاده از عوامل سطحی یا پراکنده سازها

در این روش از مواد دارای ترکیبات استری استفاده می‌شود. با استفاده از این مواد بخش استری روی سطح ذره جذب می شود. پس از آن مولکول دم بلند دافعه استری ایجاد می کند. استفاده از این مواد دارای محدودیت هایی می‌باشد. چون ممکن است این مواد با سیال پایه یا نانو ذرات واکنش دهند، با آن ها سازگاری شیمیایی داشته باشند و یا اینکه pH مخلوط را تغییر دهند. اغلب این مواد باعث تحمیل شرایطی خاص به نانوسیال می‌شوند و ممکن است برخی خواص نانوسیال از جمله ویسکوزیته و ضریب انتقال حرارت را تغییر دهند [۹].

پ) استفاده از همزن (لرزاننده) مافوق صوت

برای شکستن کلوخه‌های تشکیل شده و تبدیل آن‌ها به ذراتی با اندازه اولیه می توان از دستگاه هایی چون همزن مافوق صوت استفاده کرد. دستگاهی چون همزن مافوق صوت با اعمال امواج مافوق صوت به خوبی کلوخه های تشکیل شده در کل مخلوط را می شکند. چالش پیش رو در این روش این است که مدت پایداری نسبت به سایر روش ها کوتاه است و برای نانوسیال‌هایی که پایداری بالایی ندارند باید این روش به تناوب تکرار شود. مزیت این روش این است که هیچ گونه عامل خارجی در نانوسیال حضور ندارد و خواص نانوسیال مستقل از مواد افزودنی قابل بررسی است.

ت) ایجاد تغییرات شیمیایی روی سطح ذرات

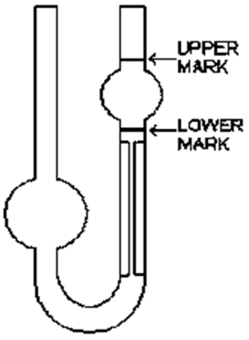
در این روش گروه‌های عاملی چون هیدروکسیل و کربوکسیل بر روی سطح ذرات ایجاد می‌شود تا مواد پخش کننده با سهولت بیشتری روی ذرات جذب شوند و ذرات و عوامل پخش کننده بتوانند پیوند پایدارتری تشکیل دهند. این روش می‌تواند به عنوان یک روش کمکی برای مورد ب باشد [۱۵ و۱۷].

۲-۳ ویسکوزیته سیال و روش‌های اندازه‌گیری آن

ویسکوزیته، اندازه مقاومت یک سیال در برابر تغییر شکل ناشی از تنش‌های طولی یا تنش‌های برشی است. دو روش کلی برای اندازه‌گیری ویسکوزیته وجود دارد. در یکی از این روش‌ها از ویسکومتر لوله مویین و در دیگری از رئومترها استفاده می‌شود.

۲-۳-۱ ویسکومتر لوله موئین

ویسکومترهای لوله مویین دارای دو محفظه هستند که توسط لوله‌ی مویینی با قطر مشخص به یکدیگر مرتبط هستند. در این نوع ویسکومترها جهت سنجش ویسکوزیته سیال، زمانی که به طول می‌انجامد تا حجم مشخصی از سیال از محفظه اول با عبور از لوله مویین، به محفظه دوم انتقال یابد، اندازه‌گیری می‌شود. ویسکومترهای لوله مویین معمولا به صورت U شکل مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌طور که در شکل (۲-۲) دیده می‌شود این ویسکومتر دارای دو محفظه است که در مسیر سیال عبوری بین این دو محفظه یک لوله مویین قرار داده شده است. در بالا و پایین ویسکومتر نشان داده شده در شکل دو نشانه وجود دارد که نشان دهنده حجم مشخصی از سیال هستند.



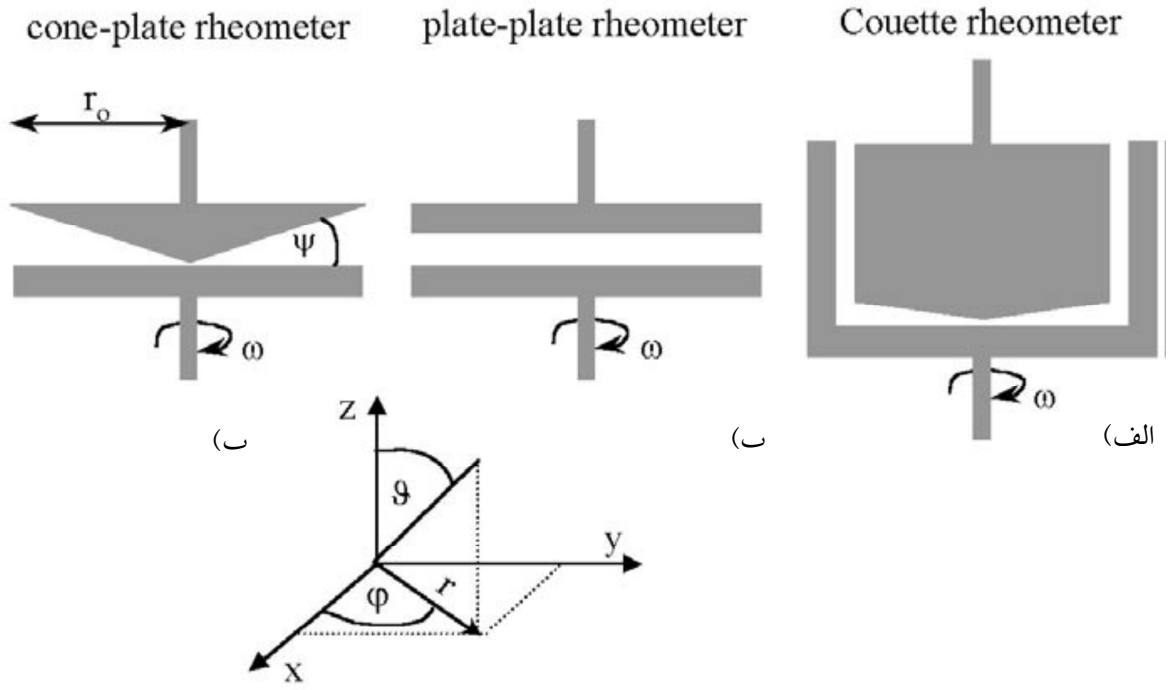
شکل۲-۲: ویسکومتر لوله مویین U شکل

مهمترین مشکل استفاده از ویسکومترهای لوله مویین، محدود بودن آن‌ها به سیال های نیوتنی است. بعضی از سیال‌ها رفتار غیرنیوتنی از خود نشان می دهند که با توجه به اینکه ویسکومتر لوله موئین تنها یک نرخ برش بر سیال اعمال می‌کند، بررسی تأثیر نرخ برش ویسکوزیته سیال با استفاده از این نوع ویسکومتر امکان پذیرنمی‌باشد.

از مزیت‌های این نوع ویسکومتر می‌توان به دقت بالا و کاربرد وسیع آن اشاره کرد. علارغم عدم کاربرد این ویسکومتر برای سیال غیرنیوتنی، دامنه وسیعی از سیال‌های سوسپانسیونی را پوشش می‌دهد و محدودیتی در مورد محدوده عدد ویسکوزیته سیال ندارد [۱۸].

۲-۳-۲ رئومترها (ویسکومترهای چرخشی)

ویسکومترهای چرخشی از لحاظ هندسی به سه نوع تقسیم می‌شوند: ویسکومتر صفحه و مخروط[1]، ویسکومتر با استوانه های هم مرکز[2] و ویسکومتر با صفحه‌های موازی[3] (شکل۲-۳). در این نوع ویسکومترها سیال بین یک محفظه و یک پیستون، مخروط یا دیسک چرخان، قرار می‌گیرد که با چرخش این جسم چرخان، تنش برشی به سیال وارد می شود و دستگاه با اندازه‌گیری تنش برشی وارده از سیال به دیواره محفظه، ویسکوزیته را اندازه گیری می کند. این نوع از ویسکومترها قابلیت اعمال چندین نرخ برش بر سیال را دارند ولی معمولاً انتخاب مقادیر این نرخ‌های برش دارای محدودیت است و بازه‌ی خاصی از مقادیر ویسکوزیته قابل اندازه گیری می‌باشد.



شکل۲-۳: (الف) ویسکومتر با استوانه های هم مرکز، (ب) ویسکومتر با صفحه‌های موازی، (پ) ویسکومتر صفحه و مخروط [۱۸]

با توجه به تنوع این نوع از ویسکومترها و قابلیت سفارش آن با کاربردهای خاص‌تر می توان در مورد زاویه اعمال میدان مغناطیسی از قدرت انتخاب بیشتری برخوردار بود [۱۹و۱۸].

[1] Cone-plate rheometer
[2] Couette rheometer
[3] Plate-plate rheometer