

# کاربرد نانوسیالات در صنعت برق و انرژی

سال انتشار: ۱۳۹۸

ویرایش نخست



## شناسنامه

### ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهرویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرابلیو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
	report@nano.ir	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
		صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴

## فهرست مطالب

۳	فناوری نانو و کاربردهای مختلف آن در صنعت برق و انرژی
۵	نانوسیال
۸	چالش‌های موجود در صنعت برق و انرژی و کاربرد نانوسیال
۹	فناوری نانوسیال در صنعت برق و انرژی
۱۶	محصولات صنعتی
۱۸	خلاصه مدیریتی

## فناوری نانو و کاربردهای مختلف آن در صنعت برق و انرژی



ماهیت بسیار گسترده فناوری نانو، تعامل نزدیک و زیاد آن با علوم و فناوری های موجود و تأثیرات زیاد اقتصادی و اجتماعی آن، برنامه ریزی بلندمدت و چندبخشی را می طلبد و در بیشتر کشورهای فعال در این حوزه نیز، این امر مورد تأکید است. در کشور ما نیز، ضرورت داشتن برنامه بلندمدت برای توسعه فناوری نانو مورد توجه مسئولان و متخصصان کشور است. یکی از حوزه هایی که نانو فناوری می تواند نقش مهمی در آن ایفا نماید صنعت برق و انرژی است که صرف بودجه در جهت تحقیق و توسعه نانو فناوری در این بخش، در صورت هدفمند بودن، در بازه زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت می تواند منجر به افزایش بهره وری گردد.

صنعت برق به دلیل نقش های اساسی و ارتباط تنگاتنگ با عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی - صنعتی، صنعتی، پویا و تأثیرگذار است و افزایش کارایی و بهره وری در آن از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است. بخش تولید برق مهم ترین و در عین حال پرهزینه ترین بخش در صنعت برق می باشد؛ بنابراین با ورود رویکردهای جدید نسبت به این صنعت، امروزه چالش های بزرگی در صنایع و حوزه های مختلف به وجود آمده است. در این بین فناوری نانو که امروزه در بسیاری از صنایع نفوذ کرده است، در نیروگاه برق نیز در حال ایفای نقش می باشد. رمز موفقیت کشورها در مقیاس کوچک ترین گاه های اقتصادی، تولید محصول ارانه خدمات با ارزش افزوده بیشتر است. دستیابی به این هدف بدون تکیه بر دانش روز، مواد و فناوری های نوین میسر نخواهد [۱].

نظریه این که کشور ما از نظر تولید علم در زمینه فناوری نانو در منطقه اول و در جهان در رتبه هشتم و از نظر توان نیروگاه های نصب شده در منطقه اول و در جهان در رتبه چهاردهم قرار دارد این امکان وجود دارد که با به کارگیری فناوری نانو در تمامی شاخه های صنعت برق موجبات ارتقای هرچه بیشتر این صنعت و صعود به رتبه های بالاتر فراهم شود [۲].

نانو انقلاب تکنولوژیک قرن ۲۱ است. امروزه کشورهای پیشرفته صنعتی با دستیابی به فناوری های نوین از جمله فناوری در مقیاس نانو، بیوفناوری و فناوری اطلاعات به انقلاب فرا صنعتی دست یافته اند که در ادامه انقلاب های پیشین امکان پی ریزی اقتصاد های مبتنی بر دانایی و افزایش شکاف عقب ماندگی آن ها با کشورهای در حال توسعه را بیش از پیش سبب خواهد شد. نظریه ویژگی های خاص فناوری نانو از جمله میان رشته ای بودن و یا تأثیری که بر

رشد و پیشرفت سایر فناوری‌ها دارد، کشورهای پیشرفته صنعتی در حال حاضر آن را در اولویت‌های ملی رده بالای خود قرار داده و به سرمایه‌گذاری‌های عظیم جهت آن پرداخته‌اند. در ادامه کاربردهای فناوری نانو در شاخه‌های تولید، انتقال، توزیع، مصرف، ذخیره‌سازی و انرژی‌های تجدیدپذیر تشریح می‌گردد.

#### ■ برخی از کاربردهای فناوری نانو در محور تولید برق

- کاتالیزورهای مخصوص سوخت
- مواد افزودنی سوخت
- پوشش‌های پره‌ها و اجزای داغ توربین‌های گازی
- پوشش‌های لوله‌های بویلر
- پوشش‌های پره‌های کمپرسور
- سیالات انتقال حرارت
- فیلترهای مربوط به توربین‌های گازی
- تصفیه آب و پساب
- روانکارهای مورد استفاده در توربین‌های گازی
- کاتالیستهای گوگردزدایی از سوخت‌های فسیلی
- کیت‌های مغناطیسی به منظور صرفه‌جویی در مصرف سوخت
- کاتالیستهای مورد استفاده در به دست آوردن سوخت‌های مایع از زغال سنگ
- غشاهای برپایه نانو ذرات

#### ■ برخی از کاربردهای فناوری نانو در محور انتقال و توزیع برق

- هادی‌ها و کابل‌های مورد استفاده در شبکه‌های انتقال و توزیع
- ورق‌های هسته ترانسفورماتورها
- مغناطیس‌های نرم مورد استفاده در تجهیزات الکترونیک قدرت (به‌عنوان مثال بریکرها، فیلترها، آمپلی‌فایرها)
- عایق‌های الکتریکی خطوط فشارقوی
- قرص برق‌گیر
- سیالات خنک‌کننده مورد استفاده در ترانسفورماتورها
- سازه‌های بتنی
- حسگرهای مورد استفاده در شبکه باتری‌ها
- ابرساناهای دمای بالا
- کاتالیستهای معدوم‌سازی ترکیبات هالوژنه روغن‌های ترانسفورماتورها
- سبک‌سازی سازه‌های مورد استفاده در شبکه تجهیزات و ادوات الکترونیک قدرت و حس‌گرهای مورد نیاز شبکه هوشمند
- تجهیزات نیمه‌هادی

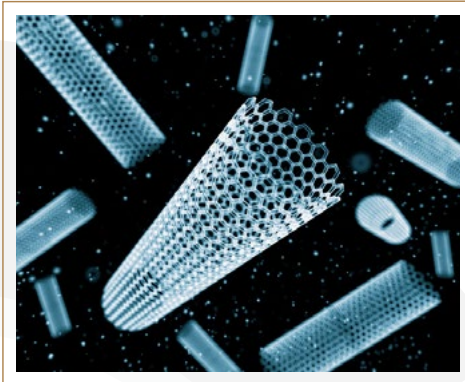
#### ■ برخی از کاربردهای فناوری نانو در حوزه مصرف برق

- روشنایی
- هسته‌های موتورهای الکتریکی
- لامپ‌های کم مصرف
- عایق‌های حرارتی و الکتریکی
- شیشه‌ها
- سبک‌سازی سازه‌ها
- روان‌سازهای ترمیم‌کننده سطوح

## ■ برخی از کاربردهای فناوری نانو در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره‌سازی انرژی

- سلول‌های خورشیدی
- آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی
- کوره و اجاق‌های خورشیدی
- کلکتورهای خورشیدی
- آب‌شیرین‌کن‌های خورشیدی
- پیل‌های سوختی
- کاتالیست‌های پیل‌های سوختی
- توربین‌های بادی
- انرژی زمین‌گرمایی
- انرژی جزر و مد (انرژی امواج)
- باتری‌ها
- ذخیره‌سازی هیدروژن
- ابرخازن‌ها
- مولدهای ترموالکتریک

## نانوسیال

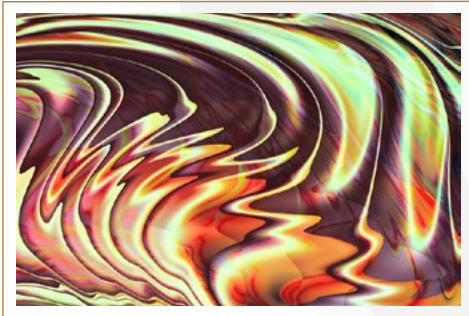


نانوسیال به عنوان سیالی تعریف می‌شود که ذرات با اندازه بین یک تا ۱۰۰ نانومتر و به صورت پایدار در سیال پایه معلق است. افزودن نانو ذرات باعث می‌شود که خواص ترموفیزیکی سیال تحت تأثیر قرار بگیرد. این نوع سیالات توسط ذرات کلئیدی معلق با ابعاد نانو در یک سیال پایه طراحی شده‌اند. ذرات نانو استفاده شده در نانوسیالات عموماً شامل فلزات، اکسیدها، کاربیدها یا نانولوله‌های کربنی می‌شوند. سیال پایه‌ای که به‌طور معمول برای تهیه

نانوسیال استفاده می‌شود، آب، اتیلن گلیکول و روغن می‌باشد. نانوسیالات ویژگی‌های جدیدی دارند که آن‌ها را برای کاربردهای انتقال حرارت سودمند کرده است. این سیالات رسانش گرمایی و ضریب انتقال حرارت هدایتی بالاتری را نسبت به سیال پایه از خود نشان می‌دهند [۳].

امروزه تحقیقات در زمینه نانوسیالات ابعاد گسترده‌ای پیدا کرده است. تحقیقات نشان داده که استفاده از نانو ذرات در سیال پایه باعث می‌شود که ضرایب انتقال حرارت و جرم افزایش یابد. افزایش ضرایب انتقال حرارت و جرم سبب افزایش بازده، کاهش اندازه تجهیزات و همچنین، هزینه ساخت آن‌ها می‌شود [۳].

آگاهی از رفتار رئولوژیک نانوسیال جهت تصمیم‌گیری در مورد مناسب بودن نانوسیال برای کاربردهای انتقال حرارت بسیار مهم به نظر می‌رسد. در تحلیل‌های دینامیک سیالات محاسباتی، نانوسیال‌ها به صورت سیالی تک فاز در نظر گرفته می‌شوند، گرچه در مقالات جدید فرض دوفازی نیز در نظر گرفته شده است. تئوری فرض تک فاز بودن نانوسیال زمانی که خواص فیزیکی نانوسیال به صورت تابعی از هر دو ترکیب سیال پایه و ذرات نانو باشد می‌تواند بکار گرفته شود. در نانوسیالات این نکته پذیرفته شده است که حرکت ذرات نانو



از خط جریان پیروی نمی‌کند؛ در حقیقت عواملی باعث القای سرعت لغزشی بین سیال پایه و نانوذرات می‌شود. حرکت نانوذرات تأثیر معناداری روی رئولوژی و خواص ترموفیزیکی نانوسیالات می‌گذارد، بنابراین تحقیق و بررسی حرکت ذرات نانو برای ارزیابی عملکرد آن‌ها در ضمن قرارگیری در سیال پایه در مدیوم انتقال حرارت ضروری می‌باشد [۴].

برای تهیه نانوسیالات دو روش وجود دارد:

□ روش دومرحله‌ای

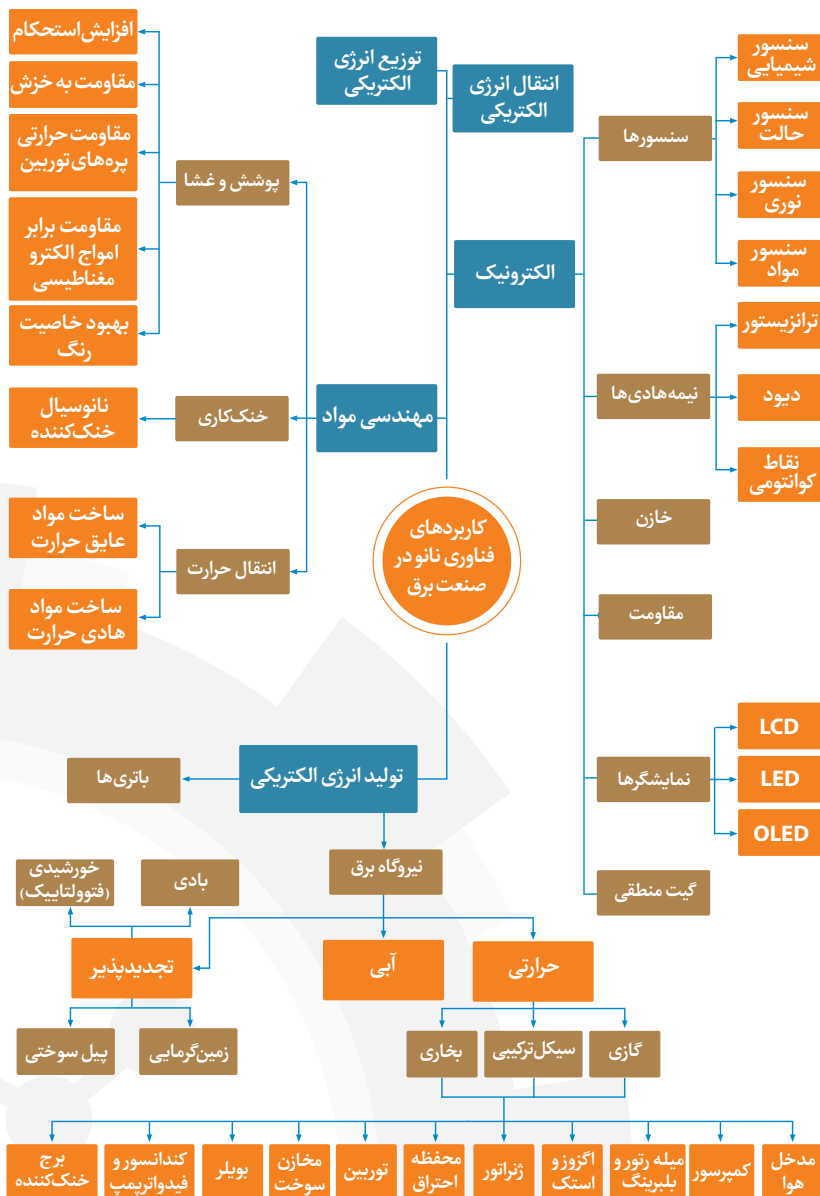
□ روش تک‌مرحله‌ای [۵].

#### ■ روش دومرحله‌ای

این روش به صورت وسیعی برای تهیه نانوسیالات مورد استفاده قرار می‌گیرد. نانوذرات، نانو الیاف، نانولوله‌ها یا دیگر نانو مواد در این روش ابتدا به صورت پودر خشک توسط روش‌های فیزیکی و شیمیایی تولید می‌شوند. سپس در مرحله دوم فرآیند با کمک تحریک نیروی مغناطیسی شدید، تحریک مافوق صوت، اختلاط تنش بالا، همگن سازی و آسیاب گلوله‌ای پودرهای در ابعاد نانو داخل سیال پراکنده می‌شود. روش دومرحله‌ای روشی اقتصادی برای تولید نانوسیالات در مقیاس بزرگ است؛ زیرا هم‌اکنون فناوری‌های اختلاط نانو پودرها برای تولید در سطوح صنعتی رشد کرده‌اند. با توجه به مساحت بالا و کنش سطحی نانوذرات، این مواد تمایل دارند تا به صورت توده درآیند. مهم‌ترین روش برای افزایش پایداری نانوذرات در سیالات، استفاده از سورفاکتانت (ماده فعال سطحی) است. با این حال کارآمدی سورفاکتنت‌ها به ویژه برای کاربردهای در دمای بالا همچنان یک نگرانی بزرگ به حساب می‌آید.

#### ■ روش تک‌مرحله‌ای

فرآیند تک‌مرحله‌ای به صورت هم‌زمان شامل تهیه و پراکندن باهم نانوذرات در سیال است. در این روش از انجام فرآیندهای خشک کردن، ذخیره، انتقال و پراکندن نانوذرات جلوگیری شده و در نتیجه توده‌های تشکیل شده نانوذرات کوچک می‌شود و پایداری نانوسیالات افزایش می‌یابد. فرآیندهای تک‌مرحله‌ای می‌تواند نانوذرات را به صورت همگن پراکنده کند و ذرات می‌توانند به صورت پایدار در سیال پایه معلق شوند. با این حال برای روش تک‌مرحله‌ای معایبی وجود دارد که مهم‌ترین آن رسوب و واکنش دهنده‌ها است که در نانوسیالات به دلیل واکنش یا موازنه ناقص فرآیند باقی می‌ماند. به همین دلیل توضیح اثرات نانوذرات بدون از بین بردن اثر ناخالصی رسوب و واکنش دهنده‌ها مشکل است.



شکل ۱. کاربردهای فناوری نانو در صنعت برق و انرژی [۶]

## چالش‌های موجود در صنعت برق و انرژی و کاربرد نانوسیال



تاریخ علم، پدیده‌های متعدد و فراوانی در صفحات خود جای داده است. با پیشرفت فناوری و نزدیکی به مرزهای حقیقی در علم کوانتوم و پدید آمدن واژه‌ای به نام «نانو» انقلاب عظیمی در دنیای علم صورت گرفت. امروزه نیز پیشرفت‌های زیادی در عرصه نانو جهت دقیق کردن این دانش به وجود آمده است. به بیان ساده‌تر فناوری نانو در جهان از چهل سال پیش تاکنون کاربردهای وسیعی پیدا کرده است و می‌توان این علم و ابعاد آن را فراتر از حال دانست و عنوان کرد که فناوری نانو بخشی از آینده نیست بلکه خود آینده است [۷].

با توجه به کاهش ذخایر نفتی و افزایش نیاز جهانی برای تأمین انرژی به‌کارگیری فناوری نانو در حوزه برق و انرژی مورد توجه فراوان قرار گرفته است. پیش‌بینی می‌شود که با بهره‌گیری از فناوری نانو تولید برق به میزان ۲۰ تا ۲۵ درصد تا سال ۲۰۲۰ افزایش یابد [۸].

استفاده از این فناوری نانو در تمامی علوم پزشکی، پتروشیمی، علوم مواد، صنایع دفاعی، الکترونیک، کامپیوترهای کوانتومی و... باعث شده است، تحقیقات در زمینه نانو به عنوان یک چالش اصلی علمی و صنعتی پیش روی جهانیان باشد؛ لذا محققان، استادان و صنعتگران ایرانی باید در یک بسیج همگانی، جایگاه، موقعیت و وضعیت خویش را درباره این موضوع مشخص کنند و با یک برنامه‌ریزی علمی دقیق و کارشناس شده به حضوری فعال و حتی رقابتی سالم در این جایگاه، عرض اندام و ابراز وجود نمایند. به‌طور کلی چالش‌های پیش روی در صنعت برق و انرژی که با کمک فناوری نانوسیالات می‌توان آن‌ها رفع نمود، به صورت زیر می‌باشد:

- وزن بالا و ابعاد بزرگ تجهیزات تولید توان و تبدیل انرژی
- هزینه بالای تجهیزات تولید توان و تبدیل انرژی
- قابلیت اطمینان سیستم تولید برق و تبدیل انرژی
- اتلاف انرژی بالا در سیستم‌های تولید توان و انرژی
- مشکل خنک‌کنندگی تجهیزات صنعت برق و انرژی



- عمر کم بعضی تجهیزات به دلیل دمای کارکرد بالا
- راندمان کم تجهیزات تولید توان و تبدیل انرژی به دلیل عدم انتقال حرارت مناسب
- اتلاف انرژی در سیکل های سرمایه‌ش و گرمایش

با فناوری نانو سیال می‌توان مواد و روش های جدیدی ایجاد کرد که تحولی اساسی در زمینه برق و انرژی رقم می‌زنند. با توجه به پتانسیل های موجود در نانوسیالات در زمینه انتقال حرارت و جرم، می‌توان با به کارگیری آن ها در صنعت، به بازدهی بالاتر و مصرف انرژی کمتر در تجهیزات دست یافت. نتایج استفاده از نانوذرات، به عنوان افزودنی های سیال برای بهبود انتقال حرارت و جرم، توجه بسیاری از محققان را جلب کرده است [۹]. به طور کلی می‌توان گفت نانوسیالات با دو طریق اصلی در بهبود عملکرد سیستم های تولید برق و تبدیل انرژی نقش دارند.

- بهبود انتقال حرارت در تجهیزات توان و تبدیل انرژی
- بهبود انتقال جرم در تجهیزات توان و تبدیل انرژی

از مزیت های استفاده از نانوسیالات در صنعت برق و انرژی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- سطح مخصوص بالا و متعاقب آن سطح انتقال حرارتی بیشتر مابین ذرات و سیالات
- کاهش توان متراکم کننده سیال (پمپ یا کمپرسور) در مقایسه با سیال خالص در دست یابی به شدت انتقال حرارت یکسان
- خواص منعطف (قابل تغییر) شامل ضریب هدایت گرمایی و قابلیت میزان سطح خیس با تغییر غلظت ذرات در جهت وفق شرایط برای کاربری های مختلف

## فناوری نانو سیال در صنعت برق و انرژی

امروزه با توجه به نیاز به کاهش ابعاد سیستم های انتقال حرارت در وسایل نقلیه از یک طرف و همچنین نیاز به افزایش نرخ انتقال حرارت از طرف دیگر، سیستم های انتقال حرارت با راندمان بالا مورد توجه ویژه ای قرار دارند. ضریب هدایت حرارتی پایین سیالات رایج انتقال حرارت مانند آب در مقایسه با فلزات، مانع اصلی در کوچک سازی میدل های حرارتی می باشد. برای رسیدن به این هدف، دو رویکرد افزایش سطح مؤثر میدل ها و همچنین افزایش ضریب هدایت حرارتی سیال در نظر گرفته شده اند. نانوسیال ها از پراکنده شدن ذرات نانویی در یک سیال پایه به وجود می یابند. به واسطه این ذرات، ضریب انتقال حرارت سیال پایه به میزان قابل توجهی افزایش یافته و در مصرف انرژی صرفه جویی به عمل خواهد آمد. تحقیقات نشان می دهد که میزان افزایش انتقال حرارت نانوسیال ها، به پارامترهای متفاوتی از قبیل درصد افزودن نانوذرات، جنس آن ها، ابعاد ذرات نانویی و... بستگی دارد [۱۰].

### ■ نانو سیال و برج خنک کننده نیروگاه

هر دستگاه مکانیکی از قبیل انواع موتورها و کمپرسورها در هنگام کارکرد و در اثر اصطکاک اجزا حرارت زیادی



ایجاد می‌کند. حرارت باعث وارد آمدن صدمه و تنش‌های نامطلوبی به سامانه می‌شود. این حرارت باید به وسیله یک ماده، از سامانه خارج و حذف شود. در اثر تبادل حرارت که در اجزای یک چرخه نیروگاه تولید برق که منجر به افزایش حرارت یا تغییر فاز سیال عامل می‌شود، لازم است که سیال عامل را با مجموعه‌ای از تجهیزات خنک کرده یا آن را به فاز اولیه بازگردانند. به عنوان مثال برای متراکم کردن بخار خروجی از توربین و تغییر فاز دوباره آن به مایع برای ورود به دیگ بخار از آب به عنوان یک خنک‌کننده استفاده می‌شود. یا برای خنک کردن سیم پیچ‌ها در ژنراتور تولید برق از گاز هیدروژن، آب یا هوای طبیعی استفاده می‌شود. همچنین می‌توان به عنوان یک نمونه دیگر به خنک کردن روغن‌هایی که حرارت را از باتاقان‌های موتور یا توربین و سایر قطعات دیگر می‌گیرند اشاره کرد که این روغن‌ها را می‌توان با آب خنک کرده و دوباره در مسیر گردش به منظور جذب حرارت قرارداد. سیال‌های عامل در یک چرخه بسته یا باز عمل کرده و برای انتقال حرارت خود به سیال خنک‌کننده از یک مبدل حرارتی استفاده می‌کنند. برای گردش سیال عامل در چرخه، پمپ‌هایی به طور مداوم سیال را به گردش درآورده و ضمن مصرف بیش از حد مواد خنک‌کننده، انرژی زیادی نیز برای این گردش تلف می‌شود. سامانه خنک‌کننده مناسب منجر به بهبود عملکرد سامانه و کاهش تلفات انرژی آن می‌شود.

روش‌های مختلفی برای طراحی مناسب و بهینه سامانه‌های خنک‌کننده در انواع نیروگاه‌ها مطالعه و پیشنهاد شده است. پژوهشگران فناوری نانو برای رفع چالش‌های مربوط به خنک‌سازی تجهیزات نیروگاه‌ها، استفاده از نانوسیالات را پیشنهاد می‌کنند.

در مسائل مدیریت گرمایی قسمت‌های مختلف نیروگاه‌ها، افزایش نرخ انتقال حرارت و کوچک کردن تجهیزات انتقال حرارت برای بهبود کارایی، افزایش طول عمر، مسائل ایمنی و... یکی از دغدغه‌های اصلی به شمار می‌رود. مراجع علمی زیادی درباره روش‌های افزایش نرخ انتقال حرارت در قسمت‌های مختلف نیروگاهی گزارش داده‌اند. بیشترین روش‌ها بر مبنای تغییرات در ساختار تجهیزات، مانند افزایش سطوح حرارتی، لرزش سطوح حرارتی، تزریق یا مکش سیال و اعمال جریان الکتریکی یا مغناطیسی متمرکز است. موضوعی که کمتر به آن توجه شده، تأثیر ضربه انتقال حرارت با بازدهی بالا است. محیط‌های انتقال حرارت معمولاً از سیالاتی مانند آب، اتیلن گلیکول یا روغن تشکیل شده‌اند. این سیالات ضربه انتقال حرارت پائینی در مقایسه با فلزات و حتی اکسیدهای فلزی دارند. به عنوان مثال ضربه هدایت حرارتی مس ۷۰۰ برابر ضربه هدایت حرارتی آب و ۳۰۰۰ برابر

ضریب هدایتی روغن و ضریب هدایت حرارتی  $Al_2O_3$  نیز ۶ برابر ضریب هدایت حرارتی آب است؛ بنابراین انتظار می‌رود سیالاتی که شامل ذرات بسیار ریز این ترکیبات است در مقایسه با سیالات خالص ویژگی حرارتی بهتری از خود نشان دهند. به دلیل مشکلات فنی مطالعات انجام شده در این زمینه بیشتر روی سوسپانسیون‌هایی متمرکز بوده که شامل ذرات جامد معلق در حد میلی‌متری یا حداکثر میکرومتر هستند. ذرات در این مقیاس مشکلات جدی در تجهیزات انتقال حرارت ایجاد می‌کنند؛ به طوری که این ذرات به سرعت ته‌نشین می‌شوند و در صورتی که کانال از قطر کمتری برخوردار باشد مشکل جدی‌تر خواهد بود. به طوری که در هنگام عبور از میکرو کانال‌ها، کلوخه شده و باعث گرفتگی مسیر می‌شوند که در نتیجه افت فشار زیادی ایجاد می‌کنند از سوی دیگر برخورد این ذرات با سطوح منجر به سائیدگی می‌شود؛ بنابراین با وجود ضریب هدایت حرارتی بالا، این سوسپانسیون‌ها به علت ملاحظات فرآیندی به عنوان محیط انتقال حرارت مناسب به نظر نمی‌رسند. فرآیند تولید ذرات در حد نانومتر را باید به عنوان انقلابی در افزایش انتقال حرارت دانست. در سال ۱۹۹۵ میلادی برای نخستین بار در آزمایشگاه ملی آگون، پودرهای نانو در سیالات به عنوان نانو سیال معرفی و ویژگی‌های برجسته این سیال معرفی شد. اندازه بسیار کوچک ذرات استفاده شده و کسر حجمی پایین ذرات نانو، مسائلی مانند ته‌نشینی و کلوخه شدن را از بین می‌برد و هزینه‌های لازم برای نگهداری و انتقال این سیالات را کم می‌کند و به علت اندازه بسیار کوچک، سائیدگی و آسیب رساندن به سامانه‌ها در باره این ذرات وجود ندارد. علاوه بر این سطح نسبی بزرگ این ذرات تأثیرات غیرتعادلی بین سیال و جامد را کاهش داده و باعث پایداری سوسپانسیون می‌شود. همچنین در شکل تئوریک مشخص است هرچه اندازه ذرات ریزتر باشد، سطح نسبی انتقال حرارت آن‌ها بیشتر می‌شود و در نتیجه بازده حرارتی ذرات معلق که تابعی از سطوح انتقال حرارت است با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد؛ بنابراین طراحی سامانه‌های خنک‌کننده به کمک تزریق نانو سیال برای بهبود سامانه‌های مهندسی پیچیده امری ضروری به شمار می‌رود. از سوی دیگری از روش‌های افزایش ایمنی نیروگاه‌ها افزایش قابلیت انتقال حرارت در آن‌ها است؛ بنابراین نانو سیال‌ها با توجه به قابلیت فرآیند در انتقال حرارت در نیروگاه‌ها بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. بهبود ویژگی‌های گرمایی نانو سیال‌ها احتیاج به انتخاب روش مناسب برای تهیه این سوسپانسیون‌ها دارد تا از ته‌نشینی و ناپایداری آن‌ها جلوگیری شود. متناسب با نوع کاربرد، انواع زیادی از نانو سیالات از جمله نانو سیالات اکسید فلزات، نیتريت‌ها، کربید فلز و غیر فلزات که به وسیله یا بدون استفاده از سورفکتانت در سیالاتی مانند آب، اتیلن‌گلیکول و روغن به وجود آمده است. مطالعات زیادی روی چگونگی تهیه نانو ذرات و روش‌های پراکنده سازی آن‌ها در سیال پایه انجام شده است. یکی از روش‌ها متداول تهیه نانو سیال، روش دومرحله‌ای است. در این روش ابتدا نانوذره یا نانولوله معمولاً به وسیله رسوب بخار شیمیایی در فضای گاز بی اثر به صورت پودرهای خشک تهیه می‌شود. در مرحله بعد نانوذره یا نانولوله در داخل سیال پراکنده می‌شود تا توده‌های نانوذره‌ای به حداقل رسیده و باعث بهبود رفتار پراکندگی شود. روش دومرحله‌ای برای بعضی موارد مانند اکسید فلزات در آب، دی‌نیزه شده بسیار مناسب است و برای نانو سیالات نانو ذرات فلزی سنگین، کمتر موفق بوده است. روش دومرحله‌ای دارای مزایای اقتصادی بالقوه‌ای است؛ زیرا شرکت‌های زیادی توانایی تهیه نانو پودرها در مقیاس صنعتی را دارند. روش یک مرحله‌ای نیز به موازات روش دومرحله‌ای پیشرفت کرده است. به طور مثال نانو سیالاتی شامل نانو ذرات فلزی با استفاده از روش تبخیر مستقیم تهیه شده‌اند. در این روش، منبع فلزی در شرایط خلأ تبخیر می‌شود. در این روش، تراکم توده نانو ذرات به حداقل خود می‌رسد، اما فشار بخار پایین سیال یکی از معایب این فرآیند به شمار می‌رود.

با این حال روش‌های شیمیایی تک‌مرحله‌ای مختلفی برای تهیه نانو سیال به وجود آمده‌اند که از جمله آن می‌توان به روش احیای نمک فلزات و تهیه سوسپانسیون آن در حلال‌های مختلف برای تهیه نانو سیال فلزات اشاره کرد. مزیت اصلی روش یک مرحله، کنترل بسیار مناسب روی اندازه و توزیع اندازه ذرات است.

برج خنک‌کننده دستگاهی است که حرارت اضافی سیال عامل را می‌گیرد و آن را به محیط منتقل می‌کند. سیالاتی که برای خنک کاری استفاده می‌شوند، در اثر گردش در یک چرخه، گرم شده و دمای آن بالا می‌رود. برج خنک‌کننده دمای این سیالات را تا نزدیکی دمای حباب «تر» پایین آورده و حرارت را وارد محیط می‌کند. این کار را با تبخیر آب انجام می‌دهند. عمده‌ترین مشکلات به وجود آمده برای یک برج خنک‌کن عبارت است از: خوردگی قطعات داخلی برج، رشد جلبک‌ها و باکتری‌های بیولوژیکی، تشکیل رسوب در قسمت‌های مختلف برج و مصرف چشمگیر آب. در واقع مصرف آب و هدر رفت آب در برج‌های خنک‌کننده نیروگاهی بسیار بالا است. برای مثال پژوهش‌ها نشان می‌دهد ۴۰ درصد مجموع برداشت آب شیرین آمریکا به وسیله نیروگاه‌های بخار بوده که به طور تقریبی ۳ درصد کل مصرف آب نیروگاه در برج‌های خنک‌کننده «تر» هدر می‌رود. برنامه نوآوری و فناوری موسسه پژوهشی برق آمریکا به یک موفقیت در زمینه نانو ذرات برای افزایش خواص ترموفیزیکی سیالات مبدل حرارتی مورد استفاده در برج‌های خنک‌کننده تر رسیده که باعث کاهش چشمگیر آب مصرفی در نیروگاه‌ها بخار موجود و جدید می‌شود. ترکیب خنک‌کننده‌های نیروگاهی با نانو ذرات هسته ماده‌های تغییر دهنده فاز (PCM) تا ۲۰ درصد سبب کاهش مصرف آب می‌شوند. بر اثر ذوب این مواد گرمای کندانسور نیروگاه گرفته شده و به عنوان محصولات خنک‌کننده جامد می‌شود. همچنین انتظار می‌رود، بهبود ویژگی گرمایی که به وسیله این نانو ذرات چند منظوره حاصل می‌شود، سبب کاهش نرخ جریان سیال خنک‌کننده تا حدود ۱۵ درصد می‌شود که خود باعث کم شدن بار پمپ‌ها و در نتیجه کاهش تلفات انرژی است. در آزمایشگاه ملی آرگون، پژوهشگران یک ایده خنک کاری بر مبنای فناوری نانو توسعه داده‌اند. این ایده افزودن نانو ذرات با پوسته سرامیکی یا فلزی و هسته‌ای از مواد تغییر دهنده فاز به سیال خنک‌کننده است. این مواد برای ذوب شدن در دمای کندانسور و جامد شدن هنگامی که جریان انتقال دهنده گرما به برج خنک‌کننده می‌رسد، طراحی می‌شوند. افزودن نانو ذرات جاذب گرما به سیال خنک‌کننده باعث افزایش ضریب انتقال حرارت، ظرفیت گرمایی و گرمای تبخیر در نتیجه کاهش مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن به یک سطح خنک‌کنندگی می‌شود. در اوایل سال ۲۰۱۱ میلادی موسسه پژوهشی برق قدرت آمریکا به پژوهشگران و سازندگان درباره با فناوری‌های کار آبی آب مورد استفاده در صنایع نیروگاهی، پیشنهاد پژوهش و بررسی داد. از بین ۷۰ پاسخ، آزمایشگاه آرگون، پیشنهاد خنک کاری نیروگاه‌ها مبتنی بر نانو ذرات تغییر دهنده فاز ارائه کرد؛ بنابراین ارزیابی و تجاری سازی این ایده به وسیله موسسه پژوهشی برق قدرت در دستور کار قرار گرفت. در سال ۲۰۱۲ میلادی، مدل‌ها و مطالعات موازی در آزمایشگاه برای دستیابی به ویژگی بهینه ترموفیزیکی این مواد در کاربردهای خنک کاری نیروگاهی در جریان قرار گرفت [۱۱، ۱۲، ۱۳].

#### ■ نانو سیال و ترانسفورماتورها

ترانسفورماتورها مهم‌ترین تجهیزات شبکه می‌باشند. هرگونه بهبود در ساختار و عملکرد این تجهیزات تأثیر بسزایی در هزینه‌ها و قابلیت اطمینان شبکه خواهد داشت. کاربرد فناوری نانو در زمینه مهندسی برق به طور کلی نحوه ساخت وسایلی از قبیل ترانسفورماتورها، خازن‌ها و موتورهای الکتریکی را دگرگون ساخته، به طوری که کاربرد

ترانسفورماتورهای نانو ساختار امکان کاهش حجم و وزن، بازده و قیمت کل و حداقل شدن تلفات انرژی الکتریکی در مدارات را فراهم آورده است.

از جمله کاربردهای فناوری نانو افزایش هدایت حرارتی سیالات می باشد. استفاده از نانوذرات در روغن های ترانسفورماتور می تواند تغییر بسزایی در سیستم خنک کنندگی ترانسفورمرها به وجود آورد.

روغن های ترانسفورماتورها در مقابل حرارت بالای تولیدی در ترانس خصوصیات خود را در مدت زمان کمی از دست می دهند و عملکردی نامناسب پیدا می کند؛ بنابراین ارتقای رفتار حرارتی این روغن ها بسیار مهم بوده و یکی از راه کارهای آن، افزایش ضریب انتقال حرارت آن می باشد. ضریب انتقال حرارت روغن هایی که در حال حاضر در ترانس ها استفاده می شود، در حدود  $0.136 \text{ W/mK}$  می باشد. با ظهور فناوری نانو، معمولاً برای کاربردهای خنک کاری در مبدل ها، در سیستم های سرمایشی و گرمایشی و تجهیزات صنعتی از نانوسیال ها استفاده می شود و به همین دلیل در سال های اخیر کاربرد آن در حوزه انتقال حرارت بسیار گسترده شده و به عنوان یکی از محورهای مهم مطالعاتی، تحقیقات زیادی را به خود جلب کرده است. نانوسیال، سوسپانسیون پایداری است که از طریق پراکنده کردن یکنواخت نانوذراتی با ضریب حرارتی بالا در سیالی مشخص، ساخته می شود و به طور قابل ملاحظه ای نسبت به آن سیال هدایت حرارتی بالاتری دارد. لذا با توجه به حضور نانوسیالات در حوزه های انتقال حرارت، بررسی استفاده از آن ها در ترانسفورمرها از جداییت ویژه ای برخوردار است.

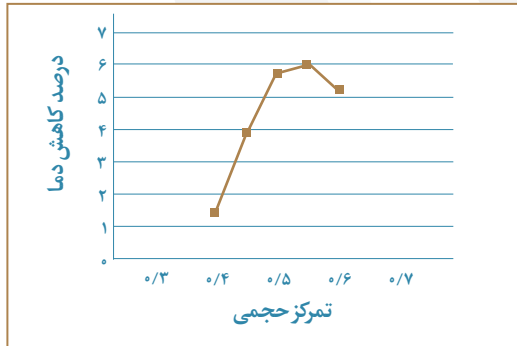
مشخصات حرارتی روغن ترانسفورمر اصلی ترین نقش را در طول عمر ترانسفورمر ایفا می کنند چراکه روغن ترانسفورمر بایستی هر دو عملکرد عایقی و خنک کنندگی را مؤثرتر انجام دهد. روغن معدنی تصفیه شده که به عنوان شاره عایقی در ماشین های الکتریکی استفاده می شود هدایت حرارتی ضعیف دارد و لذا کارایی خنک کنندگی ضعیف نشان می دهد. هدایت حرارتی بالا و ویسکوزیته پایین مشخصات مهم شاره های انتقال حرارت می باشند. روغن معدنی تصفیه شده که در ترانسفورمرها استفاده می شود در دماهای بالا پایدار بوده و به لحاظ الکتریکی عایق فوق العاده ای است. لیکن هدایت حرارتی روغن معدنی پایین است و خطاهای ناشی از حرارت در نتیجه اضافه بار مورد انتظار است. لذا برای افزایش طول عمر ترانسفورمر و افزایش باردهی و خنک کنندگی ترانسفورمر بایستی هدایت حرارتی روغن افزایش یابد. طبیعتاً مناسب ترین انتخاب افزودنی هایی است که با دفع حرارت، بر خاصیت عایقی بی تأثیر بوده و ویسکوزیته روغن را افزایش ندهند.

شاره های با نانوذرات معلق تحت عنوان نانو شاره نامیده می شوند [۱۴]. نانو شاره ها به عنوان نسل بعدی شاره های انتقال حرارت لحاظ شده و امکانات قابل توجه جدیدی ارائه می کنند. به دلیل مساحت نسبی بزرگ تر نانوذرات در مقایسه با ذرات کلاسیک، نه تنها قابلیت های انتقال حرارت به طور قابل توجه بهبود حاصل می کنند، پایداری تعلیق نیز افزایش می یابد [۱۵]. در [۱۶] نشان داده شده است که انتقال حرارت در تجهیزات الکترومغناطیسی به طور چشمگیری با استفاده از شاره های مغناطیسی شامل نانوذرات مغناطیسی معلق افزایش پیدا می کند. از زمان کشف روغن ترانسفورمر بهبود یافته با نانوذرات مغناطیسی توسط سیگال، تحقیقات گسترده ای برای بررسی شاره های با نانوذرات در روغن ترانسفورمر انجام شده است [۱۷، ۱۸]. در [۱۹] روغن نانو شامل نانوذرات نقره با اندازه  $5.5 \pm 2.4 \text{ nm}$  روی سیلیکا استفاده شد و این نانو شاره کلیه کیفیات یک نانو روغن ایده آل را ارائه نمود. لیکن نانوکامپوزیت نقره-سیلیکا در روغن ترانسفورمر فقط به مدت یک ساعت پایدار بود.

با توجه به مطالعات انجام شده هم به لحاظ فنی و تأثیر بر درصد کاهش دمای ترانسفورماتور که عامل اصلی در

افزایش عمر ترانسفورمر می‌باشد و هم به لحاظ اقتصادی، مناسب‌ترین گزینه برای تزریق در روغن ترانسفورماتور نانوذره  $Al_2O_3$  می‌باشد.

برای حصول به تمرکز حجمی بهینه دقیق برای تزریق در روغن ترانسفورمر، پروسه شبیه‌سازی و محاسبه درصد کاهش دما برای تمرکز حجمی جزئی ترذرات نانو  $Al_2O_3$  به میزان ۰٫۴٪، ۰٫۴۵٪، ۰٫۵٪، ۰٫۵۵٪، ۰٫۶٪ انجام گرفته است. نتایج در شکل ۲ قابل مشاهده است [۲۰].



شکل ۲. تغییرات درصد کاهش دما برای تمرکز حجمی جزئی ترذرات نانو  $Al_2O_3$

مشخص است که تمرکز حجمی ۰٫۵۵٪ عدد دقیق تری به دست آمده است و میزان درصد کاهش دمای سیم پیچ ولتاژ بالای ترانسفورمر به ازای این تمرکز حجمی نانوذره به میزان ۶٫۱٪ می‌باشد. می‌توان به همین روش و با دقت بیشتری به محاسبه این تمرکز حجمی نانوذره پیشنهادی اقدام نمود.

براین اساس، در دمای نقطه داغ ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد، طول عمر تقریبی ۱۰۰۸۳۳ ساعت معادل ۱۱٫۵ سال به دست می‌آید.

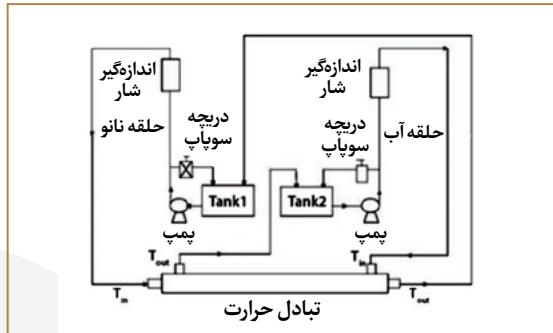
کاهش ۶٫۱ درصدی در دمای ترانسفورماتور (۱۰۸ درجه) به طول عمر ۲۰۲۲۰ ساعت معادل ۲۳٫۱ سال می‌انجامد. به عبارت دیگر حدود ۱۰۰ درصد افزایش عمر ترانسفورمر نتیجه شده است [۲۰].

### ■ کاربرد نانوسیال در ژنراتورهای الکتریکی

در ژنراتورها، گرما در قسمت‌های مختلفی تولید می‌شود، مانند گرمای ناشی از تلفات مسی سیم پیچ آرمیچر و میدان، تلفات آهن هسته، تلفات مکانیکی و... دمای کاری ژنراتور یکی پارامترهایی است که بر طول عمر آن اثر می‌گذارد و برای نگه داشتن دمای عایق‌های ژنراتور در محدودیت دمایی آن‌ها، این حرارت‌ها باید از ژنراتور خارج شوند. با افزایش ظرفیت و ولتاژ ژنراتور، خنک کردن سخت‌تری می‌شود چون نسبت حرارت تولید شده به سطح افزایش یافته و ضخامت عایق‌های ولتاژ بالا باعث افزایش مقاومت حرارتی می‌شود. سامانه خنک‌کنندگی ژنراتورها از خنک‌کنندگی غیرمستقیم تا خنک‌کنندگی مستقیم، از خنک‌کنندگی با هوا تا خنک‌کنندگی با هیدروژن یا آب پیشرفت کرده است. ژنراتورهای با ظرفیت کم یا دور کم با هوای طبیعی یا با استفاده از فن خنک می‌شوند اما ژنراتورهای با سرعت بالا و ظرفیت بزرگ با استفاده از هیدروژن و آب خنک می‌شوند. سامانه خنک‌کاری مناسب

منجر به بهبود عملکرد ژنراتور و کاهش تلفات انرژی آن می‌شود. فناوری نانو در سامانه خنک کاری ژنراتور هم به کمک آمده است. به این منظور روش‌های مختلفی برای طراحی مناسب و بهینه سامانه‌های خنک‌کننده پیشنهاد شده است. در این بین یکی از کاربردهای فناوری نانو برای رفع چالش‌های مربوط به خنک‌سازی استفاده از نانوسیالات است.

اندازه ذرات مورد استفاده در نانوسیالات از ۱ نانومتر تا ۱۰۰ نانومتر می‌باشند. این ذرات از جنس ذرات فلزی مانند مس، نقره و یا اکسیدهای فلزی همچون آلومینیوم اکسید، اکسید مس و ... هستند. این مواد به دلیل قابلیت انتقال حرارت بالا جهت افزایش خواص خنک‌کنندگی مانند جریان گرمایی بالا و قابلیت ترشوندگی در غلظت متوسط، استفاده می‌شوند [۲۱]. سیستم پیشنهادی برای انتقال حرارت به کمک نانوسیال (آب + نانو ذرات  $Al_2O_3$ ) در شکل ۳ نشان داده شده است [۲۲].



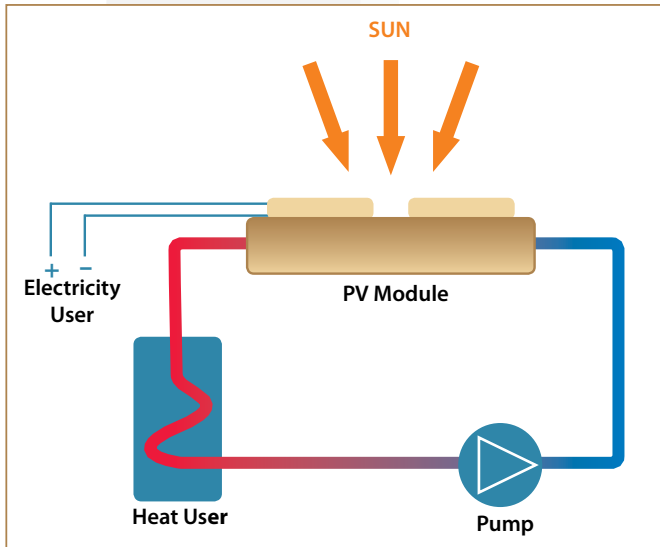
شکل ۳. سیستم پیشنهادی برای انتقال حرارت به وسیله نانوسیال  $Al_2O_3$

با افزایش نرخ جریان ذرات، میزان ضریب انتقال حرارت افزایش می‌یابد و به این ترتیب با افزایش غلظت  $Al_2O_3$  ضریب انتقال حرارت افزایش می‌یابد.

#### ■ کاربرد نانوسیال‌ها در سامانه‌های خورشیدی

نانوسیال ترکیبی از جامد-مایع است که در آن نانو ذرات فلزی یا غیرفلزی در سیال پایه معلق اند. ذرات نانومتری معلق نظیر سیلیسیم اکساید، تیتانیوم اکساید، اکسید مس یا نانو ذرات فلزی نیکل یا نانولوله‌های کربنی و گرافن باعث تغییر ویژگی‌های جابه‌جایی و انتقال حرارت سیال می‌شوند که قابلیت بسیاری برای افزایش انتقال حرارت از خود نشان می‌دهند.

به تازگی برخی از مؤسسات و شرکت‌های تحقیقاتی نانوسیال‌ها را در گرم‌کن‌ها و یا باتری خورشیدی مورد استفاده قرار می‌دهند. از آنجایی که تابش نور در طول موج‌های بلند بر سطح سلول‌های خورشیدی سبب گرم شدن آن شده و این افزایش دما موجب کاهش راندمان می‌شود. لذا خنک کاری سلول‌های خورشیدی از اهمیت خاصی برخوردار می‌شود. پس به کارگیری نانوسیال موجب می‌شود با عبور جریان هوا حرارت بیشتری از سلول خورشیدی منتقل گردد در شکل ۴ به صورت شماتیک سیستم خنک‌کاری مشاهده می‌شود [۲۳].



شکل ۴. خنک کاری سلول‌های خورشیدی با نانوسیال‌ها [۲۴]

## محصولات صنعتی

در داخل کشور تحقیقات بسیار زیادی در مورد بهینه‌سازی تجهیزات صنعت برق و انرژی صورت گرفته است و در راستای افزایش راندمان و تجهیزات قدم‌هایی برداشته شده است. در این بین شرکت ایرانی نانو پوشش فلز با تولید صنعتی نانوسیالاتی با قدرت خنک‌کنندگی بالا و نانو پوشش‌های ضد رسوب، هم‌اکنون خدمت‌رسان چندین واحد صنعتی و نیروگاهی در سطح کشور است. استفاده از نانوسیالات خنک‌کننده‌ی DZ موجب کاهش ده درصدی مصرف انرژی در صنایع تأسیساتی می‌شود. نیروگاه طرشت و واحدهای ۷۵ مگاواتی نیروگاه کهنوج از این نانوسیال بهره می‌برند [۲۵].

در خصوص ضرورت تولید نانوسیالات خنک‌کننده می‌توان گفت که کمتر صنعتی را می‌توان پیدا کرد که در آن از مبدل‌های حرارتی استفاده نشده باشد؛ از صنعت خودرو و حمل‌ونقل گرفته تا صنایع نیروگاهی و تأسیساتی و صنعت نفت، گاز، پتروشیمی و الکترونیک. در تمامی صنایع ذکرشده مبدل‌های حرارتی نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در تولید و هزینه‌های تمام‌شده‌ی محصولات نهایی ایفا می‌کنند. به‌طور مثال، در کندانسورهای نیروگاه‌های حرارتی در صورت افزایش ۴ درصدی بازدهی انتقال حرارت، علاوه بر افزایش ۵ درصدی تولید برق، در مصرف سوخت نیز صرفه‌جویی خواهد شد.

اغلب سیالات خنک‌کننده‌ی موجود در بازار پایه‌الکلی هستند و تنها نقطه‌ی جوش سیال آب را به دماهای بالاتر انتقال می‌دهند؛ اما نانوسیالات تولیدشده در شرکت نانو پوشش فلز به دلیل ایجاد نانوباله‌هایی بر روی دیواره مبدل‌های حرارتی، سطح تماس مولکول‌های سیال با دیواره‌ی فلزی مبدل را افزایش می‌دهند و نرخ انتقال حرارت را بهبود می‌بخشند.





شکل ۵. نانوسیال خنک‌کننده شرکت نانو پوشش فلز [۲۶]

تقریباً همه‌ی صنایع دارای تجهیزاتی هستند که عملکرد این تجهیزات موجب ایجاد حرارت می‌شود. این حرارت ایجاد شده می‌تواند تا حدود زیادی مصرف انرژی را افزایش داده و موجب استهلاک دستگاه‌ها گردد. از این رو از یک مایع خنک‌کننده جهت کاهش دمای تجهیزات استفاده می‌شود؛ بنابراین میزان بازدهی کل صنعت به‌طور مستقیم با نحوه‌ی عملکرد سیالات خنک‌کننده رابطه دارد. در این راستا، افزایش قدرت خنک‌کنندگی سیالات موجب کاهش هزینه و افزایش بازدهی صنایع خواهد شد [۲۷].

استفاده از نانوسیالات در صنعت برق و انرژی صنعت نوپایی است و در جهان یک سری محصولات نانوسیال برای به‌کارگیری در صنعت برق و انرژی تولید شده‌اند که در جدول زیر به معرفی یک سری از این محصولات پرداخته شده است.

## جدول ۱. نمونه‌ای از محصولات صنعتی در جهان

شرکت	نام محصول	تصویر محصول
First graphene co [28]	نانوسیال سرمایه‌ی مدل فرست گرافن	
Ice dragon cooling [29]	Ice dragon cooling nanofluid coolant Model: IDC250	
NANOHEX [30]	نانوسیال خنک‌کننده نانو هکس	
SFU university [31]	TiO <sub>2</sub> -based nanofluid 2.4	

## خلاصه مدیریتی

صنعت برق و انرژی از صنایع اصلی کشور ایران محسوب می‌گردد که باید در راستای افزایش بهره‌وری تا حد امکان به‌روز باشد. فناوری نانو و به‌طور خاص به‌کارگیری نانوسیالات در تولید برق و تبدیل انرژی، می‌تواند هم در افزایش راندمان و عمر کاربرد و هم کاهش هزینه راه‌گشا باشد. نانوسیالات می‌توانند با رفع مشکل خنک‌کنندگی تجهیزات مختلف (برج خنک‌کن، ژنراتورها، ترانسفورمرها، سیستم‌های تجدید پذیر مثل خورشیدی و...) هم اتلاف انرژی را کاهش دهند و هم قابلیت اطمینان سیستم را بالا ببرند.

## پی‌نوشت

## ۱ Phase Change Material

## مراجع

- ۱ کاربردهای فناوری نانو در بخش تولید انرژی الکتریکی، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو، مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو ۸۸
- ۲ نشریه علمی آموزشی پژوهشی آینده‌پژوهی - شماره یازدهم - ویژه فناوری‌های نوین - بهمن ۱۳۹۳
- ۳ Gianluca Puliti, Samuel Paolucci and ihir Sen. Nanofluids and Their Properties, Applied Mechanics Reviews (ASME), Vol.64(030803), 2011, p.1-23.
- ۴ Supreeti Das, Nanofluids for Heat Transfer: An Analysis of Thermophysical Properties, IOSR Journal of Applied Physics, Vol.7(5), 2015, p.34-40.
- ۵ Ghadimi A. Saidur R. Metselaar H.S.C. A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol.54, 2011, pp. 4051-4068.
- ۶ <http://nano.ir/page/1/2422/154>
- ۷ Guptha H.K, Agarwal G.D and Mathur J. An overview of Nanofluids: A new media towards green environment, International Journal of Environmental Sciences, Vol.3(1), 2012, p.433-440.
- ۸ معرفی و آینده‌نگری مهم‌ترین موارد کاربردی فناوری نانو در حوزه تولید و ذخیره انرژی، دومین کنفرانس تخصصی فناوری نانو در صنعت برق و انرژی، اردیبهشت ۱۳۹۳
- ۹ L. Wang and J. Fan, Nanofluids research: key issues, Nanoscale Research Letters, vol. 5, no. 8, pp. 1241-1252, 2010.
- ۱۰ Xuan Y. Roetzel W. Conceptions for Heat Transfer Correlation of Nanofluids, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol.43, 2000, pp. 3701-3707.
- ۱۱ Saidur R. Leong K.Y. mohammad, H.A.A review on applications and challenges of nanofluids, Renewable and sustainable Energy reviews, Vol.15, 2011, pp. 1646-1668.
- ۱۲ J. Routbort, et al. Argonne National Lab, Michellin North America, St. Gobain Corp. 2009.
- ۱۳ H. Xie and L. Chen, Adjustable thermal conductivity in carbon nanotube nanoflu-

ids, Physics Letters Section A, vol. 373, no. 21, pp. 1861–1864, 2009.

۱۴ S. Choi, "Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles", ASME FED, vol. 231, pp. 99-102, 1995.

۱۵ S. K. Das, S. Choi, W. Yu, T. Pradeep, "Nanofluids: Science and Technology", John Wiley & Sons, Inc. vol. 21, pp. 5-8, 2008.

۱۶ V. Segal, A. Hjorstberg, A. Rabinovich, D. Natrass and K. Raj, "AC (60 Hz) and Impulse Breakdown Strength of a Colloidal Fluid Based on Transformer Oil and Magnetite Nanoparticles", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 619-622, 1998.

۱۷ P. Kopcansky, L. Tomco, K. Marton, M. Koneracka, I. Potocova, and M. Timko, "The experimental study of the DC dielectric breakdown strength in magnetic fluids", J. Magn. Magn. Mater, vol. 276, pp. 2377-2378, 2004.

۱۸ M. Chiesa, S. K. Das, "Experimental investigation of the dielectric and cooling performance of colloidal suspensions in insulating media", Collo. Surf. A: Phys. Eng. Aspects, Vol. 335, pp. 88-97, 2009.

۱۹ Botha, S. S. Ndungu, P. and Bladergroen, B. J. "Physicochemical properties of oil-based nanofluids containing hybrid structures of silver nanoparticles supported on silica", Indian Eng. Chem. Res. vol. 50, pp. 3071–3077, 2011.

۲۰ A. H. Dhiaa, M. I. Abdulwahab and S. M. Thahab, "Study the Convection Heat Transfer of AL2O3/ Water Nano Fluid in Transformers", Eng. Tech. Journal, Vol.33, Part (E), No.7, pp. 1319-1329, 2015.

۲۱ K. Myoung-Suk, DESIGN Process of the nonofluid injectin mechanism in nuclear-power plants. Nanoscale research letters 6.1: 1-10, (2011).

۲۲ J. Albadr, T. satinder and A. Mushtaq "Heat transfer through heat exchanger Using AL2O3 nanofluid at different Concentrations, case studies in thermal Engineering, 1.1: 3844, (2013).

۲۳ [www.gitaenergy.com](http://www.gitaenergy.com)

۲۴ <http://article.sciencepublishinggroup.com/html/10.11648.j.nano.20150303.14.html>

۲۵ <https://product.statnano.com>

۲۶ <http://nanoproduct.ir/product/3302/> نانو سیال خنک کننده

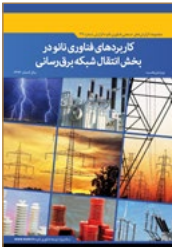
۲۷ ماهنامه فناوری نانو شماره ۲۳۹

۲۸ <https://www.firstgraphene.com.au/>

۲۹ <http://www.icedragoncooling.com/>

۳۰ <http://www.nano-hex.org/>

۳۱ <https://www.power-technology.com/news/researchers-develop-nanofluid-make-solar-power-plants-35-efficient/>



## از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو در زمینه صنعت برق منتشر شده است



- فناوری‌های نوین در استفاده از آب‌های تخریب شده به عنوان منبع آب مصرفی صنایع
- کاربرد فناوری نانو در خازن‌های مختلف
- کاربرد فناوری نانو در صنعت ترانزیستور و مدارهای مجتمع
- صنعت الکترونیک چاپی؛ فرصت‌ها و چالش‌های اقتصادی و فناورانه
- کاربرد فناوری نانو در نمایشگرها؛ نمایشگرهای قابل انعطاف
- کاربرد فناوری نانو در توربین‌های بادی

- کاربرد فناوری نانو در صنعت مقره
- فناوری‌های نوین در مدیریت و افزایش بهره‌وری آب در نیروگاه‌های گرمایی
- کاربردهای فناوری نانو در تولید انرژی الکتریکی
- کاربرد فناوری نانو در صنعت سیم و کابل
- کاربرد فناوری نانو در صنعت دیودهای نورافشان LED
- کاربردهای فناوری نانو در چاه ارت
- خنک‌کاری قسمت‌های مختلف نیروگاه