

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۱۰۰

کاربردهای فناوری نانو در خنک‌کاری قسمت‌های مختلف نیروگاه

سال انتشار: ۱۳۹۴

ویرایش نخست



ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهر ویژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرایلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
تهیه کننده:	کارگروه ترویج فناوری نانو در صنعت برق و انرژی	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir
	epower@nano.ir	صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴

۳	مقدمه
۳	نانوسیالات
۵	برج‌های خنک کننده
۶	راکتورهای هسته‌ای
۱۰	ژنراتورهای الکتریکی

هر دستگاه مکانیکی از قبیل انواع موتورها و کمپرسورها در حین کارکرد و در اثر اصطکاک اجزاء آن‌ها حرارت زیادی ایجاد می‌کند که این حرارت باعث وارد آمدن صدمات و تنش‌های نامطلوبی به سیستم می‌شود. این حرارت بایستی توسط یک ماده، از سیستم خارج شده و حذف گردد. همچنین در اثر تبادل حرارت که در اجزاء یک چرخه نیروگاه که منجر به افزایش حرارت و یا تغییر فاز سیال عامل می‌شود، لازم است که توسط تجهیزاتی سیال عامل را خنک نمود و یا آن را به فاز اولیه‌اش بازگرداند. برای مثال به منظور متراکم کردن بخار خروجی از توربین و تغییر فاز مجدد آن به مایع برای ورود به دیگ بخار از آب به عنوان یک خنک‌کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد و یا به منظور خنک کردن سیم‌پیچ‌ها در ژنراتور تولید برق از گاز هیدروژن، آب و 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 نمود که این روغن‌ها را می‌توان توسط آب خنک کرد و دوباره در مسیر گردش به منظور جذب حرارت قرار داد [۱، ۲].

سیال‌های عامل در یک چرخه بسته یا باز عمل کرده و برای انتقال حرارت خود به سیال خنک‌کننده از یک مبدل حرارتی^۱ استفاده می‌کنند. همچنین برای گردش سیال عامل در چرخه، پمپ‌هایی به طور مداوم سیال را به گردش در آورده و ضمن مصرف بیش از حد مواد خنک‌کننده، انرژی زیادی نیز برای این گردش تلف می‌شود. سیستم خنک‌کاری مناسب منجر به بهبود عملکرد سیستم و کاهش تلفات انرژی آن می‌شود. عمده‌ترین سیستم‌های خنک‌کننده مورد استفاده در نیروگاه‌ها را می‌توان به صورت زیر نام برد [۳]:

■ برج‌های خنک‌کننده^۲

■ سیستم خنک‌کننده راکتورهای نیروگاه‌های هسته‌ای

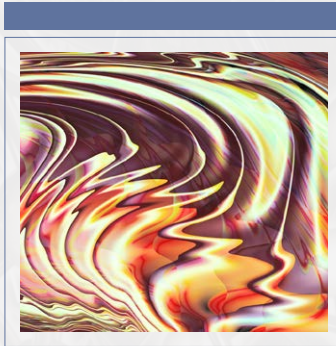
■ ژنراتورهای الکتریکی

فناوری‌نانو در سیستم‌های خنک‌کاری نام برده شده می‌تواند موثر باشد. به این منظور روش‌های مختلفی برای طراحی مناسب و بهینه سیستم‌های خنک‌کننده در انواع نیروگاه‌ها پیشنهاد می‌گردد. در این بین یکی از کاربردهای فناوری‌نانو برای رفع چالش‌های مربوط به خنک‌سازی استفاده از نانو سیالات^۳ است. که در ادامه بعد از معرفی فناوری‌نانو سیالات به کاربردهای این فناوری در خنک‌کاری قسمت‌های مختلف نیروگاه‌ها پرداخته می‌شود.

نانوسیالات

در مسائل مدیریت گرمایی قسمت‌های مختلف نیروگاه‌ها، افزایش نرخ انتقال حرارت و کوچ کردن تجهیزات انتقال حرارت برای بهبود کارایی، افزایش طول عمر، مسائل ایمنی و غیره، یکی از دغدغه‌های اصلی به شمار می‌رود. مراجع زیادی در مورد روش‌های افزایش نرخ انتقال حرارت در قسمت‌های مختلف نیروگاهی گزارش داده‌اند [۴]. بیشتر این روش‌ها بر مبنای تغییرات در ساختار تجهیزات، نظیر افزایش سطوح حرارتی، لرزش سطوح حرارتی، تزریق یا مکش سیال و اعمال جریان الکتریکی یا مغناطیسی متمرکز است [۵، ۶]. موضوعی که کمتر به آن توجه شده است، تاثیر ضرب انتقال حرارت با بازدهی بالاست. محیط‌های انتقال حرارت معمولاً از سیالاتی نظیر آب، اتیلن گلیکول یا روغن تشکیل شده‌اند. این سیالات ضرب انتقال حرارت پایینی در مقایسه با فلزات و

حتی اکسیدهای فلزی دارند. به عنوان مثال ضریب هدایت حرارتی مس ۷۰۰ برابر ضریب هدایت حرارتی آب



و ۳۰۰۰ برابر ضریب هدایتی روغن و ضریب هدایت حرارتی Al_2O_3 نیز ۶۰ برابر ضریب هدایت حرارتی آب است. بنابراین انتظار می‌رود سیالاتی که شامل ذرات بسیار ریز این ترکیبات باشند در مقایسه با سیالات خالص خواص حرارتی بهتری از خود نشان دهند. به خاطر مشکلات فنی مطالعات انجام گرفته در این زمینه بیشتر بر روی سوسپانسیون‌هایی متمرکز بوده که شامل ذرات جامد معلق در حد میلی‌متر 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. بطور مثال در هنگام عبور از میکروکانال‌ها کلوخه شده و باعث گرفتگی مسیر می‌گردند که در نتیجه افت فشار زیادی ایجاد می‌کنند و 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 [۷، ۸].

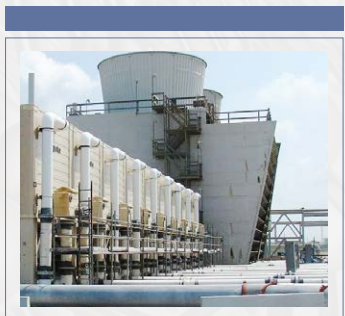
فرآیند تولید ذرات در حد نانومتر را باید به عنوان انقلابی در افزایش انتقال حرارت دانست. چوی (۱۹۹۵) اولین کسی بود که در آزمایشگاه ملی آرگون پودرهای نانو در سیالات به عنوان نانو سیال نامید و خصوصیت‌های برجسته این سیال را مطرح کرد. اندازه‌ی بسیار کوچک ذرات استفاده شده و کسر حجمی پایین ذرات نانو مسائلی نظیر 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 سیستم‌ها در مورد این ذرات وجود ندارد. علاوه بر این سطح نسبی بزرگ این ذرات تأثیرات غیر تعادلی بین سیال و جامد را کاهش داده و باعث پایداری سوسپانسیون می‌شود. همچنین صورت تئوریک مشخص است هرچه اندازه ذرات ریزتر باشند، سطح نسبی انتقال حرارت آن‌ها بیشتر می‌شود و در نتیجه بازده حرارتی ذرات معلق تابعی از سطوح انتقال حرارت است که با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد [۹]. بنابراین طراحی سیستم‌های خنک‌کننده به کمک تزریق نانو سیال برای بهبود سیستم‌های مهندسی پیچیده امری ضروری به‌شمار می‌رود. از سوی دیگر یکی از روش‌های افزایش ایمنی نیروگاه‌ها افزایش قابلیت انتقال حرارت در آن‌ها است. بنابراین نانو سیال‌ها با توجه به قابلیت فزاینده در انتقال حرارت در نیروگاه‌ها بسیار مورد توجه قرار می‌گیرند [۱۰].

بهبود خواص گرمایی نانو سیال احتیاج به انتخاب روش تهیه مناسب این سوسپانسیون‌ها دارد تا از ته‌نشینی و ناپایداری آن‌ها جلوگیری شود. متناسب با انواع کاربرد، انواع بسیاری 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، اتیلن گلیکول و روغن به وجود آمده‌است. مطالعات زیادی روی چگونگی تهیه نانو ذرات و روش‌های پراکنده سازی آن‌ها در سیال پایه انجام شده‌است [۹، ۱۱]. یکی از روش‌ها متداول تهیه نانو سیال، روش دو مرحله‌ای است. در این روش ابتدا نانوذره یا نانو لوله معمولاً به وسیله رسوب بخار شیمیایی^۴ در فضای گاز بی اثر به صورت پودرهای

خشک تهیه می‌شود. در مرحله بعد نانوذره با نانو لوله در داخل سیال پراکنده می‌شود تا توده‌های نانوذره‌ای به حداقل رسیده و باعث بهبود رفتار پراکندگی شود. روش دو مرحله‌ای برای بعضی موارد مانند اکسید فلزات در آب، دیونیزه شده بسیار مناسب است و برای نانو سیالات نانو ذرات فلزی سنگین، کمتر موفق بوده‌است. روش دو مرحله‌ای دارای مزایای اقتصادی بالقوه‌ای است؛ زیرا شرکت‌های زیادی توانایی تهیه نانو پودرها در مقیاس صنعتی را دارند. روش یک مرحله‌ای نیز به موازات روش دو مرحله‌ای پیشرفت کرده‌است. به‌طور مثال نانو سیالاتی شامل نانوذرات فلزی با استفاده از روش تبخیر مستقیم تهیه شده‌اند. در این روش، منبع فلزی تحت شرایط خلا تبخیر می‌شود. در این روش، تراکم توده نانو ذرات به حداقل خود می‌رسد، اما فشار بخار پایین سیال یکی از معایب این فرآیند محسوب می‌شود. با این حال روش‌های شیمیایی تک مرحله‌ای مختلفی برای تهیه نانو سیال به‌وجود آمده‌اند که از جمله آن می‌توان به روش احیای نمک فلزات و تهیه سوسپانسیون آن در حلال‌های مختلف برای تهیه نانوسیال فلزات اشاره نمود. مزیت اصلی روش یک مرحله، کنترل بسیار مناسب روی اندازه و توزیع اندازه ذرات است [۱۲].

برج‌های خنک‌کننده

برج خنک‌کننده دستگاهی است که حرارت اضافی سیال عامل را می‌گیرد و آن را به محیط منتقل می‌کند. سیالاتی که جهت خنک‌کاری استفاده می‌شوند، در اثر سیرکولاسیون گرم شده و دمای آن بالا می‌رود. برج



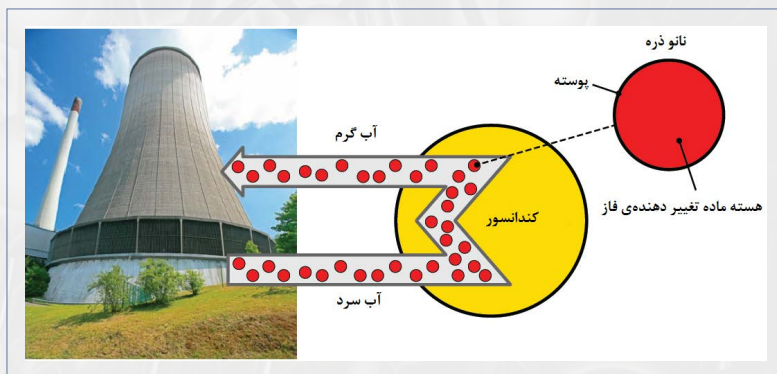
خنک‌کننده دمای این سیالات را تا نزدیکی دمای حباب‌تره پایین آورده و حرارت را وارد محیط می‌کند. این کار با تبخیر آب انجام می‌دهند. عمده‌ترین مشکلات بوجود آمده برای یک برج خنک‌کننده عبارتند از: خوردگی قطعات داخلی برج، رشد جلبک‌ها و باکتری‌های بیولوژیکی، همچنین تشکیل رسوب در قسمت‌های مختلف برج و مصرف چشمگیر آب. همچنین مصرف آب و هدر رفت آب در برج‌های خنک‌کننده نیروگاهی بسیار بالا است. برای مثال تحقیقات نشان می‌دهد ۴۰ درصد مجموع برداشت آب شیرین آمریکا

توسط نیروگاه‌های بخار بوده که تقریباً ۳ درصد کل مصرف آب نیروگاه در برج‌های خنک‌کننده‌تر هدر می‌رود [۱۳، ۵].

برنامه نوآوری و فناوری موسسه تحقیقاتی برق آمریکا (EPRI)^۶ به یک موفقیت در زمینه نانو ذرات برای افزایش خواص ترموفیزیکی سیالات مبدل حرارتی مورد استفاده در برج‌های خنک‌کننده‌تر رسیده‌است که باعث کاهش چشم‌گیر آب مصرفی در نیروگاه‌های بخاری موجود و جدید می‌شود. ترکیب خنک‌کننده‌های نیروگاهی با نانو ذرات هسته‌ای ماده‌های تغییر دهنده فاز (PCM) تا ۲۰ درصد سبب کاهش مصرف آب می‌شوند. بر اثر ذوب شدن این مواد گرمای کندانسور نیروگاه گرفته می‌شود و به عنوان محصولات خنک‌کننده جامد می‌شوند. همچنین انتظار می‌رود، بهبود خواص گرمایی که بوسیله‌ی این نانو ذرات چندمنظوره حاصل می‌شود، سبب کاهش نرخ جریان سیال خنک‌کننده تا حدود ۱۵ درصد شود که خود باعث کم شدن بار پمپ‌ها و در

نتیجه کاهش تلفات انرژی می شود [۱۴].

در آزمایشگاه ملی آرگون، محققان یک ایده خنک کاری بر مبنای فناوری نانو توسعه داده اند. این ایده اضافه کردن نانو ذرات با پوسته ی سرامیکی یا فلزی و هسته ای از مواد تغییر دهنده فاز به سیال خنک کننده است. این مواد برای ذوب شدن در دمای کندانسور و جامد شدن هنگامی که جریان انتقال دهنده ی گرما به خنک کننده می رسد، طراحی می شوند. نمایش طرح وار این ایده در اضافه کردن نانو ذرات جاذب گرما به سیال خنک کننده سبب افزایش ضریب انتقال حرارت، ظرفیت گرمایی و گرمای تبخیر می شود، یعنی سبب کاهش مقدار آب مورد نیاز برای رسیدن به یک سطح خنک کنندگی می شود [۱۵].



شکل ۱. نمایش طرح وار استفاده از نانو ذرات تغییر دهنده فاز در برج خنک کننده

در اوایل سال ۲۰۱۱ EPRI از محققان و سازندگان در رابطه با فناوری های کارایی آب مورد استفاده در صنایع نیروگاهی، درخواست تحقیق نمود. از بین ۷۰ پاسخ، آزمایشگاه آرگون، پیشنهاد خنک کاری نیروگاه مبتنی بر نانو ذرات تغییر دهنده فاز ارائه نمود. بنابراین ارزیابی و تجاری سازی این ایده بوسیله ی EPRI در دستور کار قرار گرفت. در سال ۲۰۱۲، مدل ها و مطالعات موازی در آزمایشگاه برای دستیابی به خواص بهینه ترموفیزیکی این مواد در کاربردهای خنک کاری نیروگاهی در جریان قرار گرفت. در سال ۲۰۱۳ یک طرح برای آزمایش کاربرد نانو سیال پیشنهادی برای به کارگیری در یک نمونه برج خنک کننده و سیستم کندانسور آن ارائه شد که یک مطالعه دقیق بر روی امکانات فنی و اقتصادی برای یک نیروگاه ۵۰۰ MW انجام می دهد [۱۶].

برای ساخت ابتدا نانو ذرات مواد تغییر دهنده فاز، شبیه سازی و خواص ترموفیزیکی و بخصوص هدایت گرمایی آن ها ارزیابی می شود. بر اساس این ارزیابی ساخت انجام می شود. روش های میکرومولسیون برای ساخت مواد تغییر دهنده فاز استفاده می شوند و سپس لایه های اتمی پوسته ساخته می شود [۱۴].

راکتورهای هسته ای

به طور کلی نحوه افزایش انتقال حرارت ناشی از استفاده نانو سیال را می توان در سه پارامتر زیر خلاصه نمود:

۱ افزایش میزان هدایت حرارتی

۲ افزایش میزان حرارت جابجایی

۲ افزایش شار حرارتی بحرانی (CHF)^۹

آنچه که در بحث افزایش میزان انتقال حرارت مورد نیاز در راکتورهای هسته‌ای مورد توجه است، افزایش شار حرارتی بحرانی است. این پارامتر از جمله پارامترهای کلیدی در طراحی و بکارگیری سیال خنک‌کننده در راکتورهای هسته‌ای است [۱۷].

در راکتورهای هسته‌ای به علت نوع جوشش استخری^{۱۰} و جوشش جریانی^{۱۱} که اتفاق می‌افتد، پارامتر شار حرارت بحرانی بسیار با اهمیت است. در واقع اگر بتوان به طریقی CHF را افزایش داد، می‌توان در راکتور هسته‌ای به دماهای بالاتری دست یافت در حالیکه همزمان میزان انتقال حرارت نیز افزایش یابد و بدین ترتیب به توان تولیدی راکتور هسته‌ای اضافه نمود، بدون آن‌که از لحاظ ایمنی مشکلی برای راکتور پدید آید. با توجه به مطالب فوق تحقیقات انجام شده در ارتباط با چگونگی افزایش CHF در اثر استفاده از نانو سیالات جهت کاربرد این سیالات جدید به عنوان سیال عامل خنک‌کننده در نیروگاه‌های هسته‌ای بسیار حائز اهمیت است. در جدول ۱ مطالعات و آزمایش‌های انجام شده در زمینه میزان افزایش CHF ناشی از استفاده نانو سیال‌های مختلف توسط مراکز تحقیقاتی مهم دنیا بیان شده است [۱۸].

جدول ۱. مطالعات و آزمایش‌های انجام شده در زمینه میزان افزایش CHF ناشی از استفاده نانو سیال‌های مختلف

گروه	نانو سیال	نوع هیت	میزان افزایش CHF
دانشگاه تگزاس	Al_2O_3 در آب، (0.0025 تا 0.01) g/L	صفحه مسی	۲۰۰٪
لاک‌هید	SiO_2 (۵۰ تا ۱۵ nm) در آب، ۵٪ حجمی	سیم نیکل کروم	۶۰٪
دانشگاه سانتا باربارا	Al_2O_3 (۳۸ nm) در آب، ۰.۳۷ g/L	لایه تیتانیوم روی ماده شیشه‌ای	۶۷٪
دانشگاه پوهانگ	TiO_2 (۲۷ تا ۸۵ nm) در آب، ۱٪ تا ۳٪ حجمی	صفحه مسی	۵۰٪
دانشگاه تگزاس	Al_2O_3 در اتیلن گلیکول	صفحه مسی	۲۰۰٪
کایست	Al_2O_3 (۱۰۰ تا ۱۰ nm) در آب، ۵٪ تا ۴٪ حجمی	استیل زنگ نزن	۵۰٪
دانشگاه پوهانگ	TiO_2 (۸۵ nm) در آب، ۰/۱٪ حجمی	سیم نیکل کروم	۲۰۰٪

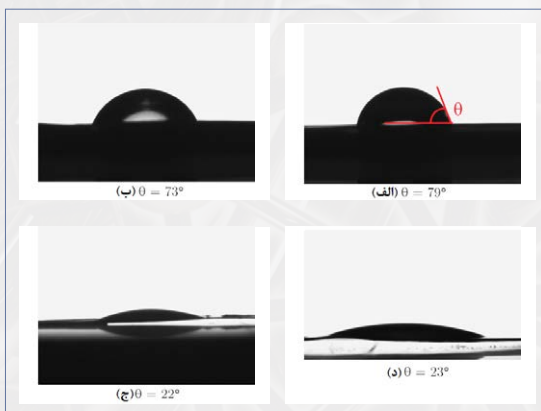
گروه	نانو سیال	نوع هیتز	میزان افزایش CHF
دانشگاه فلوریدا	SiO_2 و Al_2O_3 , CeO_2 در آب، ۰/۵٪ حجمی	سیم نیکل کروم	۱۷۰٪
دانشگاه میسوری	Au (۴ nm) در آب	صفحه مسی	۱۷۵٪
دانشگاه ماساچوست	Al_2O_3 و ZrO_2 , SiO_2 در آب	سیم استیل زنگ نزن	۸۰٪

همانطور که در جدول ۱ می‌توان دریافت، در غلظت‌های کم نانو سیالات میزان افزایش شار حرارتی بحرانی از ۵۰ درصد تا ۲۰۰ درصد است که بیانگر موفقیت این گونه سیالات در افزایش شار حرارتی بحرانی است. کیم و همکارانش در تحقیقات خود افزایش چشمگیر CHF را در اثر استفاده از نانو سیال به دو صورت توجیه نموده‌اند [۱۸]. موارد زیر در شکل ۳ و ۲ نشان داده شده است.

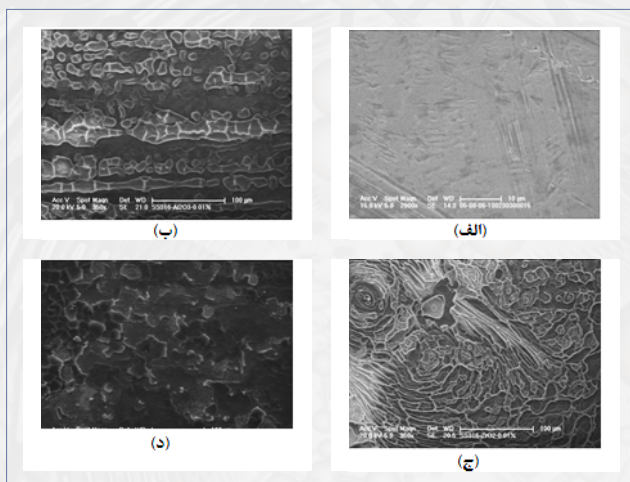
۱ نانو ذرات موجود در نانو سیال بر روی سطح انتقال حرارت ته نشین کرده و نوعی لایه متخلخل بر روی سطح ایجاد می‌کند که باعث افزایش جوشش هسته‌ای شده و در نتیجه شار حرارتی بحرانی افزایش می‌یابد.

۲ استفاده از نانو سیال باعث ترکندگی بیشتر سطح شده و در نتیجه باعث افزایش شار حرارتی بحرانی می‌شوند.

یکی دیگر از کاربردهای عمده سیستم‌های انتقال حرارت، بخش خنک کنندگی راکتورهای هسته‌ای است. با توجه به این که در طی انجام مکانیزم‌های شکافت هسته‌ای درون راکتورهای هسته‌ای میزان حرارت بسیار بالایی تولید می‌شود که این حجم بالای حرارت تولیدی بایستی به سرعت و در مقیاس بالا توسط یک سیال خنک کننده از محیط راکتور خارج و جهت تولید بخار به منظور تولید برق، مورد استفاده قرار گیرد [۱۷].



شکل ۲. نمایش زاویه تماس استاتیکی بر روی سطح جوشیده شده (الف) آب خالص در آب خالص، (ب) قطره نانوسیال حاوی ۰/۰۱ درصد حجمی Al_2O_3 بر روی آب خالص، (ج) آب خالص بر روی نانوسیال Al_2O_3 ، (د) نانوسیال حاوی ۰/۰۱ درصد حجمی Al_2O_3 بر روی خودش



شکل ۳. تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی^{۱۳} هیتر جوشیده شده در (الف) آب خالص، (ب) ۰/۰۱ درصد حجمی نانوسیال آلومینیوم، (ج) ۰/۰۱ درصد حجمی Zr، (د) ۰/۰۱ درصد حجمی Si

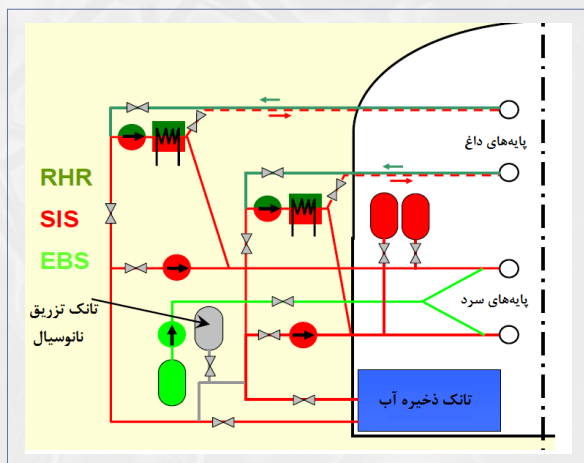
متداول ترین سیال مورد استفاده جهت انجام وظیفه فوق آب است که توانایی و انعطاف پذیری بسیار پایینی در این زمینه دارد. از جمله محدودیت های دیگر آب به عنوان یک سیال خنک کننده، حداکثر میزان توان تولیدی راکتور به میزان ۱۸/۹ MW با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند انحراف از جوشش هسته ای (DNBR)^{۱۴} و ماکزیمم شار حرارتی بحرانی (CHF) قابل دستیابی، است که این موضوع با توجه به نیاز بیشتر به تولید انرژی توسط نیروگاه های هسته ای بسیار محدود کننده است. با در نظر گرفتن مطالب فوق بسیاری از متخصصان در بخش نیروگاه های هسته ای به دنبال دستیابی به میزان توان تولیدی بیشتر توسط راکتورهای هسته ای با در نظر گرفتن محدودیت های پارامترهایی اساسی مانند DNBR و CHF اند [۱۹، ۲۰].

هو و بونگیورنو تحقیقاتی در زمینه جایگزینی سیال خنک کننده راکتورهای هسته ای با نانوسیالات انجام داده اند. نتایج حاصل از تحقیقات آن ها در جدول ۲ آورده شده است [۱۷].

جدول ۲. نتایج حاصل از جایگزینی سیال خنک کننده راکتورهای هسته ای با نانوسیالات

مورد	توان حرارتی (MW)	دبی جرمی (Kg/s)	دمای ورودی (°C)	دمای خروجی (°C)	اختلاف دما (°C)
اطلاعات مبنا	۳۴۱۱	۱۷۷۰۰	۲۹۲/۳	۳۲۴	۳۱/۷
آزمایش شماره ۱	۴۰۹۳	۲۱۲۴۰	۲۹۲/۳	۳۲۴	۳۱/۷
آزمایش شماره ۲	۴۰۹۳	۱۷۷۰۰	۲۸۶	۳۲۴	۳۸
آزمایش شماره ۳	۴۰۹۳	۱۹۴۷۰	۲۸۹/۱	۳۲۴	۳۴/۹

مرجع ایشان یک نیروگاه هسته‌ای آب فشرده ساخت شرکت وسینگ‌هاوس بوده است. در آزمایش‌های ۱ تا ۳ نیز از نانو سیال حاوی Al_2O_3 با ترکیب درصدهای ۰/۰۱ و ۰/۰۱ و همچنین ZrO_2 با ترکیب ۰/۰۱ استفاده نموده‌اند. نتایج حاصل از تحقیقات و آزمایشات ایشان با ثابت در نظر گرفتن DNBR در هر دو حالت مرجع و آزمایشات همراه با نانو سیالات ذکر شده، نشان‌دهنده افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی اختلاف دما به‌عنوان نیروی محرکه انتقال حرارت و همچنین افزایش ۲۰ درصدی میزان توان تولیدی راکتور هسته‌ای است.

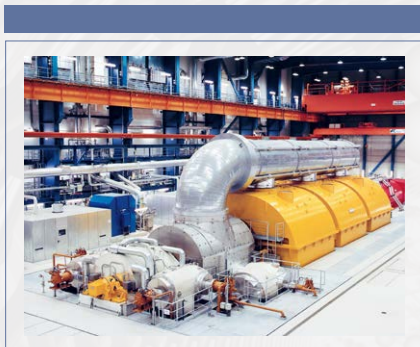


» شکل ۴. سیستم ایمنی برای خنک‌کنندگی سریع هسته راکتور اتمی با استفاده از نانوسیال

در شکل ۴ نمایی از سیستم ایمنی طراحی شده جهت خنک‌کنندگی سریع هسته راکتور اتمی با استفاده از مخزن ذخیره کم فشار نانوسیال نمایش داده شده است. تحقیقات هو و بونگیورنو در این زمینه نشان می‌دهد که افزایش CHF در بحث ایمنی راکتور و میزان خنک‌کنندگی سریع در هنگام بروز حادثه به تنهایی کافی نیست، بلکه تسریع در روند افزایش میزان انتقال حرارت پس از افزایش شار حرارت بحرانی است که به خنک‌کنندگی سریع هسته راکتور در هنگام بروز حادثه کمک می‌کند. در واقع علاوه بر افزایش ترکندگی سطح در اثر استفاده از نانو سیال، میزان هدایت حرارتی محوری افزایش یافته و در نتیجه شار انتقال حرارت جهت خنک‌کنندگی سریع هسته راکتور افزایش می‌یابد [۱۷].

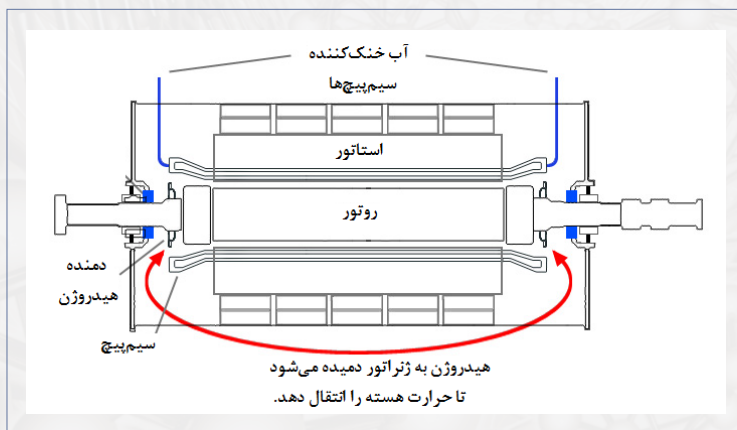
ژنراتورهای الکتریکی

در ژنراتورها، گرما در قسمت‌های مختلفی تولید می‌شود، مانند گرمای ناشی از تلفات مسی سیم‌پیچی آرمیچر و میدان، تلفات آهن هسته، تلفات مکانیکی و غیره. دمای کاری ژنراتور یکی از پارامترهایی است که بر طول عمر آن اثر می‌گذارد و برای نگه‌داشتن دمای عایق‌های ژنراتور در محدودیت دمایی آن‌ها، این حرارت‌ها باید از ژنراتور خارج شوند. با افزایش ظرفیت و ولتاژ ژنراتور، خنک کردن سخت‌تر می‌شود چون



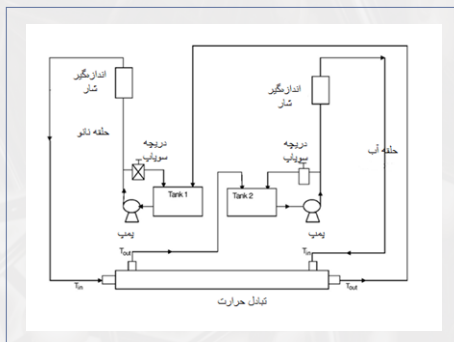
نسبت حرارت تولید شده به سطح افزایش یافته و ضخامت عایق‌های ولتاژ بالا باعث افزایش مقاومت حرارتی می‌شود. سیستم خنک‌کنندگی ژنراتورها از خنک‌کنندگی غیر مستقیم تا خنک‌کنندگی مستقیم، از خنک‌کنندگی با هوا تا خنک‌کنندگی با هیدروژن یا آب پیشرفت کرده‌است. ژنراتورهای با ظرفیت کم و یا دور کم با هوای طبیعی یا با استفاده از فن خنک می‌شوند اما ژنراتورهای با سرعت بالا و ظرفیت بزرگ با استفاده از هیدروژن و آب خنک می‌شوند.

سیستم خنک‌کاری مناسب منجر به بهبود عملکرد ژنراتور و کاهش تلفات انرژی آن می‌شود [۲۱، ۲۲]. در شکل ۵ یک سیستم خنک‌کاری ژنراتور با استفاده از گردش جریان آب و هیدروژن را نشان می‌دهد.



▲ شکل ۵. سیستم خنک‌کاری ژنراتور با استفاده از آب و هیدروژن

فناوری نانو در سیستم خنک‌کاری ژنراتور هم می‌تواند موثر باشد. به این منظور روش‌های مختلفی برای طراحی مناسب و بهینه سیستم‌های خنک‌کننده در انواع نیروگاه‌ها پیشنهاد می‌گردد. در این بین یکی از کاربردهای فناوری نانو برای رفع چالش‌های مربوط به خنک‌سازی استفاده از نانو سیالات است. این مواد به دلیل قابلیت انتقال حرارت بالا، جهت افزایش خواص خنک‌کنندگی مانند فلوی گرمایی بالا و قابلیت ترشوندگی در غلظت متوسط که مشخصه مفیدی در نیروگاه‌ها است استفاده می‌شود.

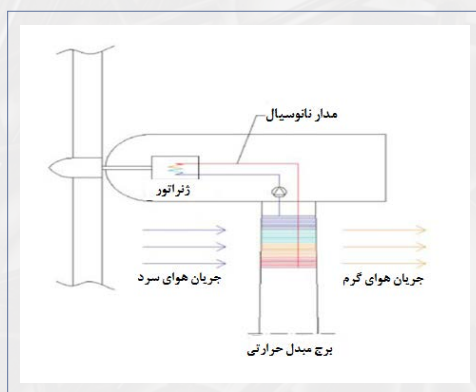


» شکل ۶. سیستم

پیشنهادی برای انتقال حرارت
به‌وسیله نانوسیال Al_2O_3

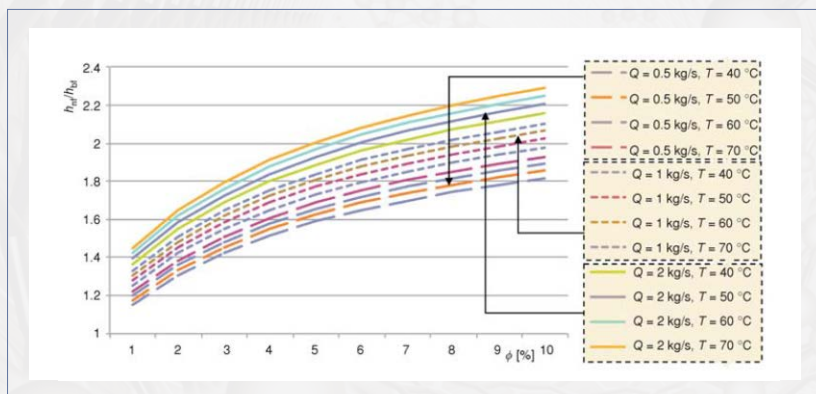
سیستم پیشنهادی برای انتقال حرارت به کمک نانوسیال (آب + نانو ذرات Al_2O_3) در شکل ۶ نشان داده شده‌است. با افزایش نرخ فلوی ذرات میزان ضریب انتقال حرارت افزایش می‌یابد و به این ترتیب با افزایش غلظت Al_2O_3 ضریب انتقال حرارت افزایش می‌یابد [۲۳].

سیستم خنک‌کننده بیشتر توربین‌های بادی، برای یک جریان هوای پایدار اغلب برق زیادی مصرف می‌کنند و در نتیجه تلفات گرمایی زیادی دارند. به‌علاوه جریان هوا می‌تواند مقدار زیادی گرد و غبار، شن و نمک و غیره حمل کند که می‌تواند به ناسل توربین وارد شود، یا جریان هوای اطراف بر روی کار خنک‌کننده اثر می‌گذارد [۲۴]. یک ساختار جدید برای خنک کردن ژنراتور توربین بادی مبتنی بر استفاده‌ی برج توربین به‌عنوان مبدل حرارتی در شکل ۷ نشان داده شده‌است [۲۵]. این روش مزایای بیشتری نسبت به روش خنک‌کنندگی سنتی دارد، اول اینکه ناخالصی، رطوبت و آلودگی وارد ناسل نشده و توربین می‌تواند هم در سطح دریا و هم بر روی خشکی استفاده شود. دوم اینکه عملکرد مقاوم آن در شرایط مختلف هوایی است.



» شکل ۷. استفاده از نانوسیال برای خنک کاری ژنراتور
توربین بادی

در این ساختار پیشنهادی، تلفات گرمایی ژنراتور از طریق برج به بیرون منتقل می‌شود. برج از لوله‌های گرد ساخته شده‌است که به قسمت داخلی آن جوش خورده‌اند. سیال عامل، نانوسیال Al_2O_3 است. ساختار پیشنهادی بر روی یک توربین بادی ۲ MW بررسی شده‌است، شکل ۸ نتایج بررسی را نشان می‌دهد. نمودار شکل ۸ نسبت مقدار حرارت انتقال یافته بین نانوسیال و آب خالص را بر حسب میزان درصد حجمی Al_2O_3 در آب نشان می‌دهد. همچنین به منظور بررسی دقیق‌تر اثر میزان دبی سیال در گردش در دماهای مختلف در شکل نشان داده شده‌است [۲۵]. همانطور که در شکل مشخص است، در تمامی شرایط با افزایش درصد حجمی ذرات نانو در آب میزان انتقال حرارت افزایش چشمگیری خواهد داشت.



شکل ۸. نتایج حاصل از استفاده از نانو سیال در خنک‌کنندگی ژنراتور توربین بادی، محور عمودی نسبت انتقال حرارت نانوسیال به آب خالص و محور افقی درصد حجمی نانوسیال در آب است

پی‌نوشت‌ها

- | | |
|-------------------------------------|--|
| ۱ Heat Exchanger | ۸ Argonne National Laboratory |
| ۲ Cooling tower | ۹ Critical Heat Flux |
| ۳ Nanofluid | ۱۰ Pool Boiling |
| ۴ Chemical Vapor Deposition | ۱۱ Flow Boiling |
| ۵ Wet bulb | ۱۲ Scanning Electron Microscope |
| ۶ Electric Power Research Institute | ۱۳ Departure from Nucleate Boiling Ratio |
| ۷ Phase-Change Material | |

مراجع

- ۱ N. Bozorgan, "Exergy Analysis of Counter Flow Wet Cooling Tower in Khuzestan Steel Co.," Exergy, 2010.
- ۲ G. power & Water, "Handbook of Industrial Water Treatment." [Online]. Available: <http://www.gewater.com/handbook/index.jsp>.
- ۳ E. A. Byers, J. W. Hall, and J. M. Amezaaga, "Electricity generation and cooling water use: UK pathways to 2050," Global Environmental Change, 2014.
- ۴ T. Álvarez Tejedor, Power Plant Life Management and Performance Improvement. Elsevier, 2011.
- ۵ P. Naphon, "Study on the heat transfer characteristics of an evaporative cooling tower," Int. Commun. Heat Mass Transf., vol. 32, no. 8, pp. 1066–1074, Aug. 2005.
- ۶ M. P. Boyce, Gas Turbine Engineering Handbook, vol. 23. Elsevier, 2011.
- ۷ Y. Xuan and Q. Li, "Heat transfer enhancement of nanofluids," Int. J. Heat Fluid Flow, vol. 21, no. 1, pp. 58–64, Feb. 2000.
- ۸ X.-Q. Wang and A. S. Mujumdar, "Heat transfer characteristics of nanofluids: a review," Int. J. Therm. Sci., vol. 46, no. 1, pp. 1–19, Jan. 2007.
- ۹ S. Chol, "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles," ASME-Publications-Fed, 1995.
- ۱۰ X.-Q. Wang and A. S. Mujumdar, "A review on nanofluids - part II: experiments and applications," Brazilian J. Chem. Eng., vol. 25, no. 4, pp. 631–648, Dec. 2008.
- ۱۱ E. C. Nsofor, "Recent Patents on Nanofluids (Nanoparticles in Liquids) Heat Transfer."
- ۱۲ Y. Hwang, J.-K. Lee, J.-K. Lee, Y.-M. Jeong, S. Cheong, Y.-C. Ahn, and S. H. Kim, "Production and dispersion stability of nanoparticles in nanofluids," Powder Technol., vol. 186, no. 2, pp. 145–153, Aug. 2008.
- ۱۳ "Nanotechnology Cuts Power Plant Water Use and Costs | Innovation America." [Online]. Available: <http://www.innovation-america.org/nanotechnology-cuts-power-plant-water-use-and-costs>. [Accessed: 05-Sep-2015].
- ۱۴ EPRI, "Multifunctional Nanoparticles for Reducing Cooling Tower Water," 2012.
- ۱۵ "New nanoparticle technology cuts water use, energy costs | Argonne National Laboratory." [Online]. Available: <http://www.anl.gov/articles/new-nanoparticle-technology-cuts-water-use-energy-costs>. [Accessed: 05-Sep-2015].
- ۱۶ Epri, "Power Plant Cooling System Overview for Researchers and Technology," 2013.
- ۱۷ J. Buongiorno, L.-W. Hu, S. J. Kim, R. Hannink, B. Truong, and E. Forrest, "Nanofluids for Enhanced Economics and Safety of Nuclear Reactors: An Evaluation of the Potential Features, Issues, and Research Gaps," Nucl. Technol., vol. 162, no. 1, pp. 80–91, Apr. 2008.

- ۱۸ S. J. Kim, I. C. Bang, J. Buongiorno, and L. W. Hu, "Study of pool boiling and critical heat flux enhancement in nanofluids," POLISH ACAD SCIENCES DIV IV, 01-May-2015.
- ۱۹ I. C. Bang and J. H. Kim, "Thermal-Fluid Characterizations of ZnO and SiC Nanofluids for Advanced Nuclear Power Plants," Nucl. Technol., vol. 170, no. 1, pp. 16–27, Apr. 2010.
- ۲۰ T. R. Barrett, S. Robinson, K. Flinders, A. Sergis, and Y. Hardalupas, "Investigating the use of nanofluids to improve high heat flux cooling systems," Fusion Eng. Des., vol. 88, no. 9–10, pp. 2594–2597, Oct. 2013.
- ۲۱ "Cooling Systems and Generator Sets" [Online]. Available: http://www.dieselserviceandsupply.com/Generator_Cooling_Systems.aspx. [Accessed: 05-Sep-2015].
- ۲۲ ABB, "Synchronous generators for steam and gas turbines Pre-engineered generators - Cooling systems."
- ۲۳ J. Albadr, S. Tayal, and M. Alasadi, "Heat transfer through heat exchanger using Al₂O₃ nanofluid at different concentrations," Case Stud. Therm. Eng., vol. 1, no. 1, pp. 38–44, Oct. 2013.
- ۲۴ W. Tong, Wind Power Generation and Wind Turbine Design. WIT Press, 2010.
- ۲۵ R. A. de, M. Milanese, G. Colangelo, and D. Laforgia, "High efficiency nanofluid cooling system for wind turbines," Therm. Sci., vol. 18, no. 2, pp. 543–554.

مجموعه نرم‌افزارهای «نانو و صنعت»

مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌ها و صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم‌افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان، در اختیار فعالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است. تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری نانو در صنایع «نفث»، «خودرو»، «نساجی»، «ساخت و ساز»، «پهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: ۶۶۸۷۱۲۵۹ – www.nanosun.ir



از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- روش تغییر شکل پلاستیک شدید (SPD) در تولید فلزات نانو ساختار
- آلیاژسازی و فعال سازی مکانیکی، فناوری تهیه نانومواد
- منسوجات ضد میکروب
- سازه‌های بتنی هوشمند با قابلیت خود ترمیم شوندگی
- لوله‌های حرارتی و کاربردهای آن در انتقال انرژی حرارتی
- کاربرد فناوری نانو در بهبود عملکرد سلول‌های خورشیدی
- نانوحسگرها جهت پایش شاخص‌های حیاتی بدن
- سیستم یون‌زدایی خازنی (CDI)
- کاربرد نانو در متالورژی پودر فلزات
- کاربرد فناوری نانو در پوشش‌های ضد نقش و ضد نوشتار
- میکرو/نانو حباب در صنعت آب و فاضلاب
- استفاده از نانوذرات پلیمری بر پایه PLGA برای دارورسانی هدفمند
- کاربرد فناوری نانو جهت گندزدایی از آب به روش ازوناسیون
- تصفیه آب با استفاده از غشاء سرامیکی نانو فیلتراسیون
- کاربرد فناوری نانو در گچ ساختمانی
- تصفیه آب با استفاده از غشاهای نانوالیاف
- کاربرد فناوری نانو در صنعت آب
- کاربردهای فناوری نانو در منسوجات خانگی
- فناوری نانو در تصفیه پساب صنعت نساجی
- نانوحسگرهای پایش کیفیت آب
- نانوحسگرهای مورد استفاده در صنایع غذایی و آشامیدنی
- فولادهای نانو ساختار
- فناوری نانو و محیط‌های کنترل شده کشت (CEA)
- نانوحسگرهای تشخیص سموم کشاورزی
- کاربرد فناوری نانو در شیشه‌های هوشمند (1)
- نانو آفت کش و اثر آن در کنترل آفات
- کاربرد فناوری نانو در صنعت مقرر
- کاربردهای فناوری نانو در صنایع غذایی
- کاربردهای فناوری نانو در روغن‌های روان کننده
- نانو افزودنی‌های سوخت
- کاربردهای نانوالیاف در کشاورزی
- کاربرد فناوری نانو در سیمان و سیال حفاری
- کاربرد نانوساختارها در فناوری‌های جداسازی غشایی
- نانوفیلترهای لیفی
- فناوری‌های نوین در مدیریت و افزایش بهره‌وری آب در نیروگاه‌های گرمایی
- فولاد نانو ساختار Sandvik Nano flex
- کاربرد فناوری نانو در صنعت سیم و کابل
- کاربرد فناوری نانو در صنعت دیودهای نورافشان LED
- کاربردهای فناوری نانو در تولید انرژی الکتریکی
- کاربردهای نانومواد سلولز در صنعت خودرو
- کاربرد نانو کامپوزیت‌های پلیمری در صنعت خودرو
- کاربرد فناوری نانو در پوشاک
- کاربرد فناوری نانو در رنگرزی منسوجات
- کاربرد فناوری نانو در منسوجات ورزشی / بیرونی
- کاربرد فناوری نانو در تولید منسوجات خود-تمیز شوند
- سلول‌های خورشیدی رنگ دانه‌ای
- نانوحسگرهای پایش آلودگی ذرات معلق در هوا
- نانوحسگرهای تشخیص دهنده پاتوژن‌های میکروبی در مواد غذایی
- کاربردهای فناوری نانو در چاه ارت
- کاربرد نانوحسگرها در تشخیص و کنترل رطوبت خاک