

ارزیابی محصولات فناوری نانو از طریق انجام آزمون‌های پایلوت در صنعت برق



مدیر پروژه: دکتر اشکان ذوالریاستین

واحد مجری: طرح استفاده از فناوری نانو در مواد و تجهیزات نیروگاه‌ها

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ارزیابی محصولات فناوری نانو از طریق انجام آزمون های پایلوت در صنعت برق

مرحله اول: فاز مطالعاتی و و امکان سنجی ارزیابی محصولات فناوری نانو از
طریق انجام آزمون های پایلوت در صنعت برق

مدیر پروژه:

اشکان ذوالریاستین

همکاران پروژه:

زهرا رجبی مشهدی – نازنین عبدی

واحد مجری:

طرح استفاده از فناوری نانو در مواد و تجهیزات نیروگاه ها

انتشارات پژوهشگاه نیرو

خرداد ۱۳۹۹

کد ثبت گزارش: NRI-ER-940-PDNP03-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.351

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی مواد غیرفلزی
ارزیابی محصولات فناوری نانو از طریق انجام آزمون های پایلوت در صنعت برق: مرحله اول (فاز مطالعاتی) / مدیر پروژه: ذوالریاستین، اشکان. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۹
۱۴۹ ص: مصور، نمودار، جدول

۱. رجبی مشهدی، زهرا؛ عبدی، نازنین، همکاران پروژه. ۲. ذوالریاستین، اشکان، مدیر واحد مجری. ۳. گروه پژوهشی مواد غیرفلزی.



انتشارات پژوهشگاه نیرو
گروه پژوهشی مواد غیرفلزی

کلیه حقوق معنوی اثر متعلق به پدیدآورندگان، کلیه حقوق مادی متعلق به نام پژوهشگاه نیرو و نشر مطالب در حدود متعارف، با ذکر منبع بلامانع است.

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۰۱-۹

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب اشکان ذوالریاستین، مدیر پروژه ارزیابی محصولات فناوری نانو از طریق انجام آزمون های پایلوت در صنعت برق و همکاران به شرح زیر است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق مقررات، مورد ارجاع قرار گرفته و در فهرست منابع ذکر گردیده است.

☐ گزارش حاصل انجام همه مراحل پروژه است.

☐ گزارش حاصل انجام یک مرحله از کل مراحل پروژه است.

همکاران :

۱. زهرا رجبی مشهدی

۲. نازنین عبدی

۳.

۴.

پیشگفتار

گزارش حاضر فاز اول مطالعاتی برای ارزیابی محصولات فناوری نانو از طریق انجام آزمون های پایلوت در صنعت برق است که در این گزارش منابع مختلف نظیر مقالات و اختراعات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند تا بهترین نتایج کارهای قبلی برای فاز طراحی در این پروژه مد نظر قرار گیرد.

در این گزارش ابتدا به بررسی مستندات، اسناد و مدارک موجود در موضوع پرداخته شد. در همین راستا، مفهوم ، کاربرد و مراحل توسعه فناوری نانو در صنعت برق مورد پژوهش قرار گرفت و در ادامه مروری بر وضعیت داخلی کشور از نظر فعالیت های صورت گرفته در زمینه فناوری نانو و مقایسه این فعالیت ها با خارج از کشور انجام شد. سپس مشکلات موجود در استفاده از فناوری نانو و نیز پیش نیازهای بهبود شرایط استفاده از این فناوری بررسی شد. در نهایت پس مشخص شدن چالش های موجود در صنعت برق قابل حل با فناوری نانو و امکان سنجی راهکارهای مختلف ارتقای خدمات پایگاه برای محصولات نانو، برای انجام پایلوت پایگاه های تحقیقاتی مناسب انتخاب و تست های قابل انجام در پایگاه ها تهیه شد.

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	ج
فهرست اشکال.....	د
فهرست جداول.....	و
فصل اول: بررسی مستندات، اسناد و مدارک محصولات موجود یا دستاورد های فعلی فناوری نانو	
۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- معرفی محصولات فناوری نانو در صنعت برق.....	۳
۱-۳- دستاورد های مرکز توسعه فناوری نانو در صنعت برق.....	۲۰
فصل دوم: بررسی چالش های فعلی صنعت برق قابل حل با فناوری نانو	
۲-۱- چالش های موجود در صنعت برق و کاربرد فناوری نانو برای حل آنها.....	۳۰
۲-۲- وضعیت فعلی پروژه های نانو فناوری برای حل چالشهای صنعت برق.....	۳۷
فصل سوم: امکان سنجی مفهومی بکارگیری یک محصول نانو برای حل مشکل شناسایی شده	
۳-۱- امکان سنجی مفهومی بکارگیری محصولات نانو برای حل مشکلات شناسایی شده در صنعت برق.....	۳۹
۳-۱-۱- پره توربین.....	۴۲
۳-۱-۲- پوشش های سد حرارتی نانو ساختار.....	۴۳
۳-۱-۳- نانو پوشش های مقاوم به سایش در موتور و دیگر قطعات متحرک نیروگاه.....	۴۶
۳-۱-۴- مواد مغناطیسی نانو ساختار در ژنراتور نیروگاه و الکتروموتورها و دیگر قطعات الکتریکی.....	۴۹
۳-۱-۵- مولد های ترموالکتریک.....	۵۱
۳-۱-۶- افزایش راندمان سوخت کوره ها با استفاده از نانو افزودنی هایی از قبیل اکسید سریم.....	۵۳
۳-۱-۷- کیت های مغناطیسی نانو ساختار به منظور صرفه جویی در مصرف سوخت مشعل ها.....	۵۴
۳-۱-۸- عایق های حرارتی نانو برای محفظه های احتراق.....	۵۴
۳-۱-۹- نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی.....	۵۴
۳-۱-۱۰- نانو ذرات روانکار.....	۵۵
۳-۱-۱۱- سنسورهای اولتراسونیک نیروگاهی با استفاده از مواد پیزوالکتریک نانو ساختار.....	۵۵
۳-۱-۱۲- تولید نانو فیلتراسیون آب ورودی و فاضلاب نیروگاهی.....	۵۶
۳-۱-۱۳- نانو فیلتراسیون گازهای آلاینده خروجی نیروگاه (سیستم دودکش).....	۵۸
۳-۱-۱۴- فیلترهای نانو ساختار.....	۵۸
۳-۱-۱۵- فیلترهای نانو ساختار تصفیه آب و پساب.....	۶۱
۳-۱-۱۶- کاتالیست های نانو ساختار مورد استفاده در محفظه احتراق توربین های گازی.....	۶۲
۳-۱-۱۷- نانوسنسورها (سیستم پایش).....	۶۴

- ۱۸-۱-۳ - سنسورهای اولتراسونیک نیروگاهی با استفاده از مواد پیزوالکتریک نانوساختار ۶۵
- ۱۹-۱-۳ - جایگزینی آلیاژهای متداول با نانوکامپوزیت ها و آلیاژهای نانوکریستال ۶۵
- ۲-۳ - استفاده از فناوری نانو در مواد و تجهیزات نیروگاهها و خط و پست ۶۶
- ۳-۳ - چالشهای اولویتدار در صنعت برق و کاربرد فناوری نانو برای حل آنها ۸۷
- فصل چهارم: انتخاب سایت / پایگاه های تحقیقاتی برای انجام آزمون پایلوت**

- ۴-۱ - مفهوم پایلوت ۱۰۸
- ۴-۲ - انتخاب سایت یا پایگاه های تحقیقاتی برای انجام آزمون پایلوت ۱۰۹
- فصل پنجم: بررسی تست های قابل انجام برای محصول /فناوری پیش از اجرای پایلوت**
- ۵-۱ - نانو پوشش و رنگ ابر آبگریز و ضد گرد و غبار برای تجهیزات عایقی ۱۲۳
- ۵-۲ - نانو پوشش محافظ بتن ۱۲۴
- ۵-۳ - نانو پوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار ۱۲۵
- ۵-۴ - نانو پودر سد حرارتی YSZ ۱۲۵
- ۵-۵ - سیستم تصفیه پساب نیروگاهی از فلزات سنگین از طریق غشاهای نانوساختار ۱۲۶
- ۵-۶ - روانکارهای نانو ساختار ۱۲۶
- ۵-۷ - افزودنی نانوسیال خنک کننده نیروگاهی ۱۲۷

فصل ششم: بررسی تست های قابل انجام برای محصول /فناوری در حین اجرای پایلوت

- ۶-۱ - نانو پوشش و رنگ ابر آبگریز و ضد گرد و غبار برای تجهیزات عایقی ۱۲۹
- ۶-۲ - نانو پوشش محافظ بتن ۱۲۹
- ۶-۳ - نانو پوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار ۱۳۰
- ۶-۴ - نانو پودر سد حرارتی YSZ ۱۳۰
- ۶-۵ - سیستم تصفیه پساب نیروگاهی از فلزات سنگین از طریق غشاهای نانوساختار ۱۳۱
- ۶-۶ - روانکارهای نانو ساختار ۱۳۱
- ۶-۷ - افزودنی نانوسیال خنک کننده نیروگاهی ۱۳۱

فصل هفتم: جمع بندی

- ۷-۱ - جمع بندی ۱۳۳
- مراجع ۱۳۵

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- سطوح مختلف آمادگی فناوری در پروژه‌های تحقیقاتی ۲
- شکل ۱-۲- میز دستاوردها در جشنواره پژوهش وزارت نیرو ۳
- شکل ۱-۳- کاربرد های مهم فناوری نانو در اجزای یک نیروگاه سیکل ترکیبی ۵
- شکل ۱-۴- فیلتر هوای نیروگاهی حاوی نانوالیاف ۶
- شکل ۱-۵- مقایسه کاغذ (الف) بدون پوشش نانو و (ب) دارای پوشش نانو ۷
- شکل ۱-۶- اتصالات UPVC مقاوم به ضربه حاوی نانو مواد افزودنی ۹
- شکل ۱-۷- کاتالیست سولفورزدایی از جریان گاز طبیعی ۱۰
- شکل ۱-۸- نانوکاتالیست سنتز متانول ۱۱
- شکل ۱-۹- قرص‌های کوچک کاتالیست انتقال آب-گاز دما پایین ۱۳
- شکل ۱-۱۰- مقایسه نتایج حاصل از آزمون کاتالیستی نمونه تولید شده و نمونه صنعتی ۱۳
- شکل ۱-۱۱- هیت سینک آلومینیومی با پوشش آلومینای نانو متخلخل ۱۴
- شکل ۱-۱۲- نانو کلئید نقره ۱۶
- شکل ۱-۱۳- بلنکت ابروژل سیلیکا ۱۷
- شکل ۱-۱۴- تغییرات هدایت حرارتی بلنکت ابروژل سیلیکا با افزایش دما ۱۸
- شکل ۱-۱۵- باتری خودرو شرکت تولیدی مواد شیمیایی نانوشیمی نوین ایرانیان ۱۹
- شکل ۳-۱- مفره های پوشش داده‌شده با نانو کامپوزیت RTV-SiO₂ ۸۹
- شکل ۳-۲- مقایسه پوشش سیلیکونی و نانو پوشش اصلاح شده ۹۰
- شکل ۳-۳- مقایسه میزان جذب آب در بتن با پوشش نانو و بدون پوشش ۹۳
- شکل ۳-۴- شماتیک تخریب سطحی پره های کمپرسور توربین گازی در اثر برخورد با ذرات ساینده ۹۳
- شکل ۳-۵- نمونه یک پره توربین پوشش داده‌شده و مقایسه آن با پره بدون پوشش ۹۵
- شکل ۳-۶- نمونه ای از پوشش های بکار رفته در توربین های گازی بر حسب دمای کاری ۹۷
- شکل ۳-۷- روشهای ریز کردن ابعاد ذرات پیش تغذیه YSZ ۹۸
- شکل ۳-۸- مقایسه عملکرد پوشش و نانو پوشش YSZ ۹۸
- شکل ۳-۹- مقایسه ریز ساختاری پوشش و نانو پوشش YSZ ۹۹
- شکل ۶-۱- کلاس‌های آبریزی ۱۳۰

فهرست جداول

جدول ۱-۱	محصولات نانو مرتبط با صنعت برق	۲۱
جدول ۱-۲	معرفی نانوپوشش و رنگ ابر آبگریز و ضد گرد و غبار برای تجهیزات عایقی	۲۲
جدول ۱-۳	معرفی نانوپوشش محافظ بتن	۲۲
جدول ۱-۴	معرفی نانوپوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار	۲۳
جدول ۱-۵	معرفی نانو پودر سد حرارتی YSZ	۲۴
جدول ۱-۶	معرفی سیستم تصفیه پساب نیروگاهی از فلزات سنگین از طریق غشاهای نانوساختار	۲۵
جدول ۱-۷	معرفی افزودنی نانو به روغن های روانکار نیروگاهی	۲۶
جدول ۱-۸	معرفی افزودنی نانوسیال خنک کننده نیروگاهی	۲۷
جدول ۲-۱	موضوعات کلان اولویت دار نانو	۴۰
جدول ۲-۲	عناوین کاربردی نانوفناوری در حوزه تولید	۴۱
جدول ۲-۳	عناوین کاربردی نانوفناوری در حوزه انتقال و توزیع	۴۱
جدول ۲-۴	عناوین کاربردی نانوفناوری در حوزه مصرف	۴۱
جدول ۳-۱	موضوعات کلان اولویت دار نانو	۴۰
جدول ۳-۲	عناوین کاربردی نانوفناوری در حوزه تولید	۴۱
جدول ۳-۳	عناوین کاربردی نانوفناوری در حوزه انتقال و توزیع	۴۱
جدول ۳-۴	عناوین کاربردی نانوفناوری در حوزه مصرف	۴۱
جدول ۳-۵	پروژه های مربوط به اقدامات فنی توسعه فناوری نانو در صنعت برق به همراه سطح آمادگی فناوری آن ها	۶۶
جدول ۳-۶	درصد بهبود خواص مختلف پوشش سیلیکونی با افزودن بهینه نانو ذرات سیلیکا	۹۰
جدول ۳-۷	مشخصات پوشش پلی یورتان سوپرآبگریز و آستری اپوکسی	۹۲
جدول ۳-۸	مشخصات نانو پوشش ضد فرسایش اعمال شده بر روی پره توربین	۹۶
جدول ۳-۹	خواص پوشش YSZ نانو ساختار و جدول مشخصات فنی آن	۹۹
جدول ۳-۱۰	خواص غشاهای نانوساختار جهت تصفیه پساب نیروگاهی از فلزات سنگین و جدول مشخصات فنی آن	۱۰۱
جدول ۳-۱۱	جدول مشخصات فنی محصول نانو روانکار ICNR	۱۰۳
جدول ۳-۱۲	مشخصات نانوسیال آب/ضد یخ بهران با نسبت ۳۰/۷۰	۱۰۶
جدول ۵-۱	آزمونهای ارزیابی خواص مختلف نانو پوشش ابر آبگریز	۱۲۳
جدول ۵-۲	آزمونهای ارزیابی خواص مختلف نانو پوشش محافظ بتن	۱۲۴
جدول ۵-۳	آزمونهای ارزیابی خواص مختلف نانو پوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار	۱۲۵
جدول ۵-۴	آزمونهای ارزیابی خواص مختلف نانو پودر سد حرارتی YSZ	۱۲۵

- جدول ۵-۵- آزمونهای ارزیابی خواص مختلف نانو روانکار ۱۲۶
- جدول ۵-۶- آزمونهای ارزیابی خواص مختلف نانوسیال خنک کننده نیروگاهی ۱۲۷
- جدول ۶-۱- آزمونهای ارزیابی خواص مختلف نانو پوشش ابر آبریز در حین پایلوت ۱۲۹

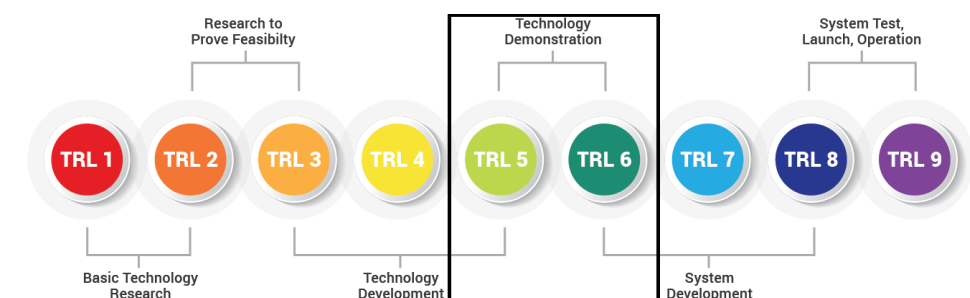
فصل اول: بررسی مستندات، اسناد و مدارک محصولات موجود یا دستاوردهای فعلی فناوری نانو

۱-۱- مقدمه

نانوتکنولوژی در دو دهه اخیر به عنوان یک فناوری کلیدی و کاربردی برای حل چالش‌های علمی و صنعتی در جهان شناخته شده است و کشورها و صنایع پیشرفته در دنیا سرمایه‌گذاری‌های زیادی را برای توسعه این فناوری انجام داده‌اند. فناوری نانو توانایی طراحی، ساخت، کنترل و بکارگیری مواد، ابزار و سیستم‌ها در ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. در این محدوده یعنی ابعاد اتمی و مولکولی خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی با خواص توده ماده در صورت‌های متداول متفاوت است. بطور کلی این فناوری شامل سه مرحله می‌باشد: نخست طراحی و مهندسی ساختارها در سطح اتمی؛ سپس ترکیب این ساختارها و تبدیل آن‌ها به مواد جدید با ساختار نانو با خصوصیات ویژه و نهایتاً بکارگیری این‌گونه مواد و تبدیل آن‌ها به ابزارهای سودمند. این فناوری نوین بواسطه توانایی کار در سطح مولکولی و اتمی و امکان کنترل دقیق ابعاد و ترکیب، موجب شده است تا بتوان مواد و تجهیزاتی با دوام و طول عمر بیشتر، مستحکم‌تر، سبک‌تر، مصرف انرژی کمتر و خواص مکانیکی و شیمیایی بهتر و یا حتی هزینه کمتر را تولید نمود.

از جمله موارد حائز اهمیت در صنعت برق، استفاده از تجهیزات و ادوات جدید بر پایه کاهش تلفات و افزایش راندمان می‌باشد که شناسایی و توسعه دانش فنی جایگزینی آنها از مباحث مهم تحقیقاتی است. فناوری نانو از یک سو موجب ارتقا و بهینه‌سازی محصولات و فرآورده‌ها و از سوی دیگر قابلیت‌های جدید و ویژه در مواد و قطعات را ایجاد می‌نماید که از این دو پتانسیل به خوبی می‌توان برای ارتقای عملکرد مواد و تجهیزات در صنعت برق بهره برد.

ارائه راهکارهای جدید برای مبارزه با خسارتهای ناشی از آلودگی و خوردگی مستلزم تعیین دقیق شرایط منطقه و انتخاب مواد یا نانو مواد، متناسب با شرایط کاری می‌باشد. لذا می‌بایست ملاحظات لازم در خصوص انتخاب مواد مناسب با شرایط موجود در نظر گرفته شود که متأسفانه این امر اغلب منظور نشده و سبب وارد آمدن مقادیر قابل توجهی خسارت به صنعت برق کشور شده است. «پایلوت» مطالعه یا بررسی است که به صورت مقدماتی و در مقیاس کوچک پیش از اجرای طرح اصلی انجام می‌شود تا امکانپذیری طرح، ارزیابی شده و یا نحوه اجرای طرح بهبود داده شود. اغلب، طرح‌های پایلوت پیش از اجرای طرح‌های کلان اجرا می‌شوند، با این هدف که از اتلاف منابع زمان و هزینه بر روی طرح‌هایی که هنوز کامل نیستند، خودداری شود. اجرای یک طرح به صورت پایلوت این امکان را به مجریان می‌دهد تا فرآیند اجرای طرح در ابعاد کوچکتر را با دقت رصد کنند و پس از آشنایی با موانع و نارسایی‌های طرح و اصلاح و تکمیل آن، با آمادگی بیشتر طرح اصلی در ابعاد وسیع به اجرا گذاشته شود. اجرای یک طرح به صورت پایلوت همچنین، به فراهم شدن برخی زمینه‌های لازم برای پذیرش طرح در صنعت نیز کمک می‌کند، به طوری که صنعت بتواند در یک فرآیند تدریجی تغییراتی را که ملزوم اجرای طرح است بپذیرد. از این رو عموماً اجرای طرح‌های پایلوت یکی از اجزای مهم استراتژی اجرای مدیریت دانش در صنایع و سازمان‌ها می‌باشد.



شکل ۱-۱- سطوح مختلف آمادگی فناوری در پروژه‌های تحقیقاتی

محصولات نانو به کار رفته در نانو پوشش ها یا کامپوزیت های دارای نانو ذرات تقویت کننده، باید به دو صورت مورد آزمون قرار بگیرند؛ یکی از نظر صحت و اعتبار محصولات خارجی وارد شده در مقایسه با کاتالوگ آن‌ها و دیگری از نظر نحوه عملکرد نانو مواد در شرایط سرویس. در این پروژه روی محصولات بدست آمده طی پروژه های تحقیقاتی که دارای نمونه اولیه قابل ارائه در سطح آمادگی فناوری (TRL) پنج یا شش باشند، پایلوت انجام می‌گیرد. این نمونه‌ها دارای نمونه آزمایشگاهی به عنوان نمونه کارآمد در محیط آزمایشگاهی و یا محیطی نزدیک به محیط عملکرد واقعی هستند که در آستانه مرحله آمادگی برای ورود به بازار قرار دارند.

برنامه میز دستاوردها نیز در جشنواره پژوهش وزارت نیرو، با هدف ارائه این محصولات و توانمندی ها برای جلب نظر سایر ذی نفعان برای تکمیل مسیر تجاری سازی محصول برگزار شده‌است. از جمله محصولات شناسایی شده در این برنامه می‌توان به نانوپوشش و رنگ ابر آبگریز و ضد گرد و غبار برای تجهیزات عایقی، نانوپوشش محافظ بتن، نانوپوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار، پوشش های سد حرارتی نانوساختار بر پایه YSZ، غشاهای نانوساختار حاوی نانو ذرات سرمایی جهت حذف انتخابی آلاینده از پساب های نیروگاهی، مواد افزودنی نانوساختار به عنوان روانکار و نانوسیال‌های خنک‌کننده نیروگاهی به منظور افزایش راندمان اشاره کرد. در ادامه فعالیت های این برنامه طی پنج گام، نمونه اولیه و آزمایشگاهی در سطح آمادگی فناوری (TRL) پنج یا شش، به محصول تجاری قابل فروش در قالب یک کسب و کار نوپا در یک شرکت دانش بنیان تبدیل خواهد گردید. در ادامه برای به کارگیری محصولات در صنعت، نمونه اولیه باید باید سطوح آمادگی فناوری (TRL) هفت، هشت و نه را طی کند تا در مسیر تجاری سازی قرار بگیرد.



شکل ۱-۲- میز دستاوردها در جشنواره پژوهش وزارت نیرو

۲-۱- معرفی محصولات فناوری نانو در صنعت برق

نانوتکنولوژی در دو دهه اخیر به عنوان یک فناوری کلیدی و کاربردی برای حل چالش های علمی و صنعتی در جهان شناخته شده است و کشورها و صنایع پیشرفته در دنیا سرمایه‌گذاری های زیادی را برای توسعه این فناوری انجام داده اند. فناوری نانو توانایی طراحی، ساخت، کنترل و بکارگیری مواد، ابزار و سیستم ها در ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. در این محدوده یعنی ابعاد اتمی و مولکولی خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی با خواص توده ماده در صورت های متداول متفاوت است. به طور کلی این فناوری شامل سه مرحله می‌باشد: نخست طراحی و مهندسی ساختارها در سطح اتمی؛ سپس ترکیب این ساختارها و تبدیل آن‌ها به مواد جدید با ساختار نانو با خصوصیات ویژه و نهایتاً بکارگیری

این‌گونه مواد و تبدیل آن‌ها به ابزارهای سودمند. فناوری نانو را موج چهارم انقلاب صنعتی نیز نامیده اند که بصورت علم میان‌رشته‌ای در تمامی حوزه های تخصصی و گرایش‌های علمی نظیر مهندسی مواد، فیزیک، شیمی، مهندسی مکانیک، مهندسی برق و علوم پزشکی و زیستی راه یافته و از فناوریهای نوینی است که با سرعت هرچه تمام تر در حال توسعه می‌باشد. این فناوری نوین بواسطه توانایی کار در سطح مولکولی و اتمی و امکان کنترل دقیق ابعاد و ترکیب، موجب شده است تا بتوان مواد و تجهیزاتی با دوام و طول عمر بیشتر، مستحکم تر، سبک تر، مصرف انرژی کمتر و خواص مکانیکی و شیمیایی بهتر و یا حتی هزینه کمتر را تولید نمود.

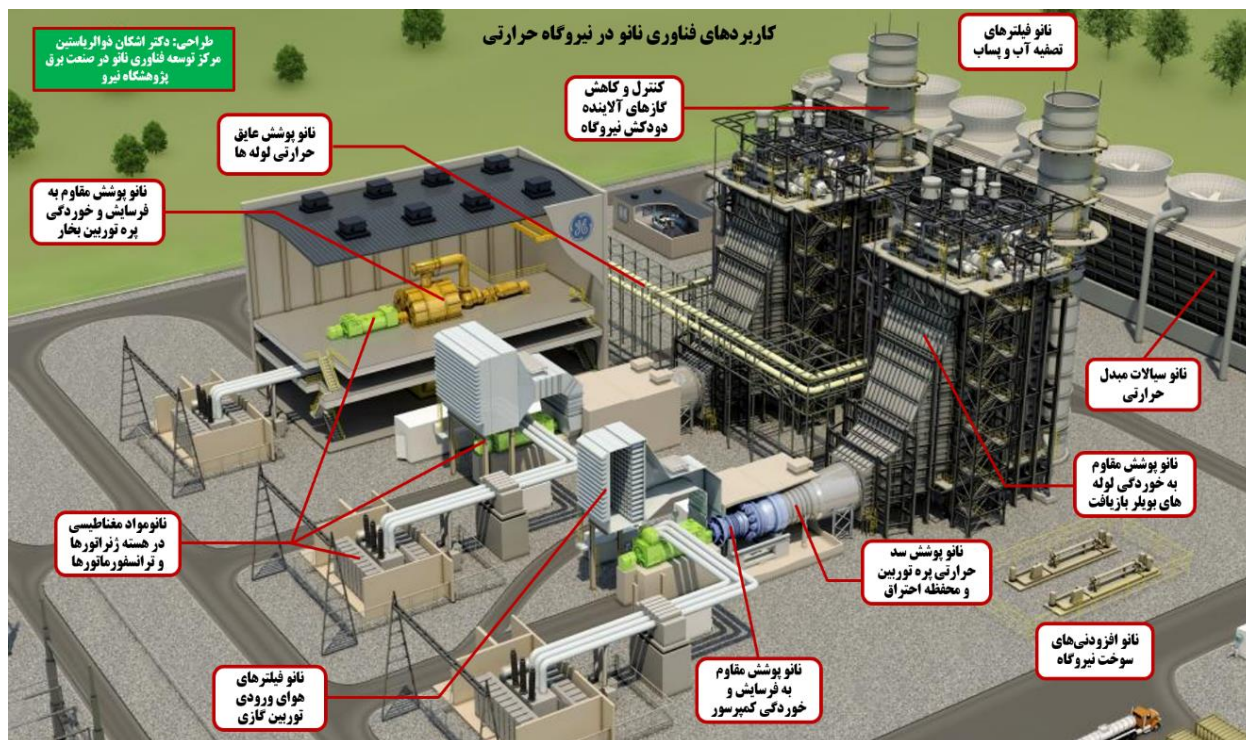
انرژی همواره به عنوان یکی از مهم‌ترین نیازهای بشر مطرح بوده است. انرژی الکتریکی با کاربردهای منحصر به فرد می‌تواند در بسیاری زمینه‌ها جایگزین منابع انرژی مختلفی باشد و به دلایل زیست محیطی و با توجه به افزایش قیمت‌های سوخت‌های فسیلی به عنوان منبع اصلی انرژی نسبت به دیگر صورت های انرژی دارای برتری است. از سوی دیگر دارای کاربردهای اختصاصی است که شاید نتوان به جای آن از دیگر منابع انرژی استفاده نمود. اهمیت برق در تولید و اقتصاد کشور یکی از مولفه های اصلی توسعه به شمار می رود و گرایش به سرمایه‌گذاری در تولید برق افزایش یافته است. از جمله موارد حائز اهمیت در صنعت برق، استفاده از تجهیزات و ادوات جدید بر پایه کاهش تلفات و افزایش راندمان می‌باشد که شناسایی و توسعه دانش فنی جایگزینی آنها از مباحث مهم تحقیقاتی است. فناوری نانو از یک سو موجب ارتقا و بهینه‌سازی محصولات و فرایندها و از سوی دیگر قابلیت های جدید و ویژه در مواد و قطعات را ایجاد می نماید که از این دو پتانسیل به خوبی می توان برای ارتقای عملکرد مواد و تجهیزات در صنعت برق بهره برد. به طور خلاصه اهداف کلان بکارگیری فناوری نانو در صنعت برق عبارتند از:

ساخت و تولید تجهیزات مورد نیاز صنعت برق با کارایی و خواص بهتر و هزینه کمتر
ساخت و تولید تجهیزاتی که با فن‌آوری‌های مرسوم امکان‌پذیر نمی‌باشد

توسعه روش‌های بهره‌برداری، تعمیرات، نگهداری، بهسازی و نوسازی تاسیسات و تجهیزات صنعت برق
کاهش تلفات، افزایش راندمان تجهیزات و افزایش توان تولید برق

امروزه دامنه جدیدی از پوشش‌ها با ساختار نانومتری توسعه یافته است که می‌توان خواص مهندسی ویژه‌ای را در لایه‌های سطحی به وجود آورد. با تغییر ساختار میکروسکوپی پوشش‌ها و ایجاد نانو ذرات می‌توان مقاومت سایشی پوشش‌ها را افزایش داد. از جمله مزایای مواد نانومتری به خصوص به صورت نانو ساختار عبارت از افزایش کیفیت خواص پوشش، افزایش طول عمر سرویس پوشش، سازگاری بیشتر با محیط زیست، مقاومت به سایش، اکسیداسیون و خوردگی به همراه مقاومت خوب به رشد ترک و شوک حرارتی است. مواد و پوشش‌ها با ساختار نانو به واسطه کاهش اندازه، قابلیت اصلاح خواص فیزیکی و مکانیکی را دارا می باشند.

پتانسیل بسیار خوبی در صنعت برق برای بکارگیری فناوری نانو در همه حوزه های تولید، انتقال و توزیع و انرژی های تجدید پذیر وجود دارد که یکی از بخش های مهم که این پتانسیل به خوبی می تواند به کار گرفته شود، نیروگاه های حرارتی است. نیروگاه های حرارتی به سه صورت نیروگاه های گازی، بخار و سیکل ترکیبی دارای تجهیزات مختلفی هستند که با جایگزینی مواد متداول با نانو مواد یا اعمال نانو پوشش ها و یا بکارگیری نانو افزودنی ها در فرایندها می توان بهبود چشمگیری در راستای بهبود عملکرد آنها، کاهش تلفات و افزایش راندمان ایجاد نمود. از جمله این تجهیزات می توان به پره های ثابت و متحرک توربین، کمپرسور، محفظه احتراق، سیستم سوخت و ژنراتور، بویلر، سیستم تصفیه آب و رودی و پساب خروجی، تصفیه و کنترل گاز های آلاینده خروجی، سیال خنک کننده، روغن های رونکار، فیلترهای هوای ورودی کمپرسور، سیستم پایش و سیستم دودکش اشاره نمود که در شکل ۱-۳، کاربرد های مهم فناوری نانو در اجزای یک نیروگاه سیکل ترکیبی نشان داده شده است.



شکل ۱-۳- کاربرد های مهم فناوری نانو در اجزای یک نیروگاه سیکل ترکیبی

امروزه به دلیل پیشرفت سریع فناوری نانو و نیاز روز افزون به تولید انرژی، سعی بر این است که با به کارگیری فناوری های جدید به تولید هرچه بیشتر الکتریسیته پاک و ارزان دست یافت. در این زمینه فناوری نانو نقش به سزایی در بهبود عملکرد قسمت های مختلف نیروگاهی ایفا می کند. محصولات مختلفی توسط ستاد توسعه فناوری نانو و شرکت های دانش بنیان ارائه شده که در ادامه معرفی می شوند.

۱-۲-۱- محصولات توسعه یافته در کشور زیر نظر ستاد توسعه فناوری نانو[1]

۱-۲-۱-۱- فیلترهای صنعتی نیروگاهی

فیلتر وسیله ای است که مانع عبور مواد زائد موجود در یک سیال مانند هوا، آب یا روغن می شود. فیلتر هوا وسیله ای متشکل از الیاف است که ذرات جامد مانند گرد و غبار، آلودگی و باکتری را از هوا پاک می کند. این آلودگی ها هنگام عبور از فیلتر به الیاف تشکیل دهنده آن متصل شده و از آن عبور نخواهند کرد. بنابراین هرچه منافذ موجود در فیلتر کوچک تر باشد، کارایی فیلتر افزایش یافته و از عبور ذرات ریزتری می تواند جلوگیری کند.

یکی از موارد کاربرد فیلترها، کمپرسورها هستند. کمپرسورها کاربرد بسیار وسیعی در کلیه صنایع بویژه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی دارند. هوای خروجی کمپرسور حاوی بخار آب، ذرات ریز غبار، ذرات خورنده، انواع باکتری و ذرات بسیار ریز روغن است که در ترکیب با یکدیگر، ماده ای لجن مانند با خاصیت اسیدی بر جا می گذارند. در اثر فشار بالا لایه ای از این مواد در داخل منبع تشکیل شده و باعث آسیب رساندن جدی به تجهیزات هوای فشرده، شیرهای پنوماتیکی، جک ها و دیگر نقاط حساس دستگاه ها می شود. با توجه به نقش مهم کمپرسورها در فرآیندهای مختلف، کیفیت سیال عبوری نقش بسزایی در افزایش عمر قطعات مختلف کمپرسور و نیز کاهش زمان توقف کمپرسور دارد.

افزایش کارایی فیلتر به‌طور معمول با افزایش تراکم الیاف بستر فیلتر ایجاد می‌شود و این امر افزایش افت فشار و در نتیجه افزایش مصرف انرژی را در پی دارد. استفاده از فیلترها با پوشش نانو الیاف سبب افزایش راندمان فیلتر در جذب ذرات ریزتر می‌شود بدون اینکه افزایش محسوس در افت فشار فیلتر نسبت به فیلتر نانو نشده داشته باشد که این امر سبب افزایش کیفیت سیال عبوری و در نتیجه افزایش عمر قطعات و کاهش زمان تعمیر و توقف می‌شود. شرکت آزاد فیلتر، در حال تولید صنعتی و عرضه‌ی فیلترهای هوای نانو ساختار به بازار است. این محصول که به‌طور خاص در فیلتر کردن هوای ورودی توربین کاربرد دارد، از کارایی بالاتری نسبت به فیلترهای رایج برخوردار است. برای محافظت از آسیب به قطعات تجهیزات نیروگاهی توسط ذرات گرد و غبار و آلودگی و دیگر ذرات مضر در هوا، فیلتر هوا به کار می‌رود. هدف جذب حداکثری ذرات گرد و غبار موجود در هوا می‌باشد. نانوالیاف با ضخامت کمتر و سطح ویژه بیشتر از الیاف معمولی دارای کاربردهای زیادی در فیلتراسیون هستند و الکتروریسی یکی از فرآیندهای مورد توجه و مؤثر در تولید نانوالیاف پیوسته از پلیمرهای مصنوعی و طبیعی است.



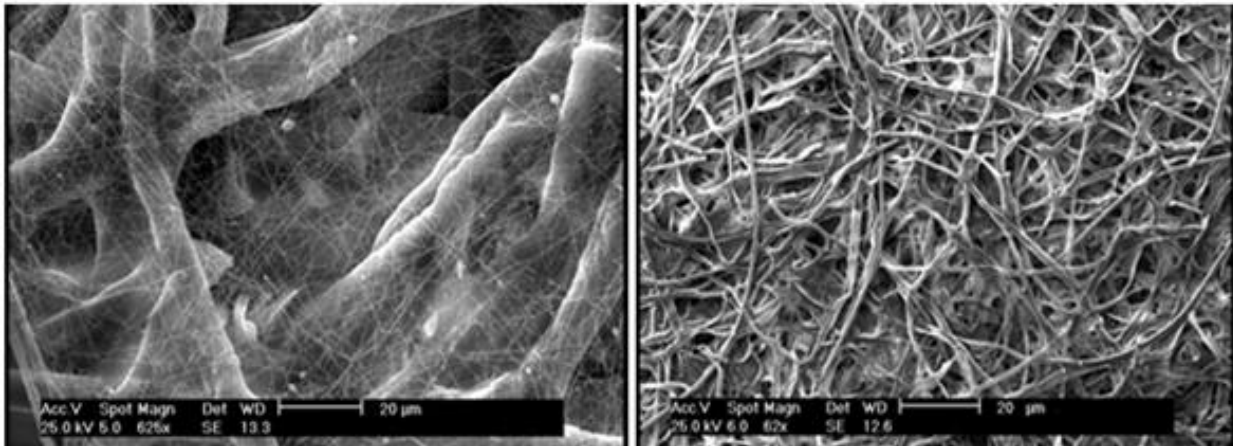
شکل ۱-۴- فیلتر هوای نیروگاهی حاوی نانوالیاف

برای بهبود عملکرد و راندمان فیلتر از الیاف الکتروریسی استفاده می‌شود. این تکنولوژی در عین حال که باعث افزایش راندمان جذب گرد و غبار می‌شود افت فشار زیادی ایجاد نمی‌کند. الیاف الکتروریسی شده دارای قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر بوده و سطح کاغذ فیلتر را به صورت یکنواخت پوشش می‌دهند. از خصوصیات شاخص این فیلترها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ارتقای راندمان فیلتراسیون از طریق کاهش اندازه سوراخ‌ها
- افزایش عمر فیلتر با بهره‌گیری از فیلتراسیون سطحی
- در انواع مختلف پلی‌آمیدی، سلولزی و پلی‌استر
- پوشش دهی بستر فیلتر با استفاده از نانوالیاف
- امکان تولید محصول متناسب با اقلیم کشور
- هزینه کم نسبت به محصولات مشابه

در تولید محصول حاضر، بستر فیلتر که وظیفه‌ی اصلی فیلتراسیون را بر عهده دارد با نانوالیاف پوشش داده می‌شود. این امر سبب افزایش کارایی فیلتر بدون افزایش محسوس افت فشار و در نتیجه کیفیت بهتر فرایند فیلتراسیون شده است. نانوالیاف به دلیل مساحت سطحی بالا، نسبت طول به عرض زیاد و چگالی پایین موجب حذف مقادیر زیادی از

ذرات در حین فرآیند فیلتراسیون می‌شوند و این عملکرد به افزایش بازدهی فرایند فیلتراسیون می‌انجامد. مکانیزم این عمل به این صورت می‌باشد که لایه نازکی از شبکه نانوالیاف سدی در مقابل ذرات تشکیل می‌دهند درحالی‌که هوا از طریق حجم بزرگی از سوراخ‌های کوچک عبور داده می‌شود. درواقع مساحت سطح بالای نانوالیاف ذرات کوچک‌تر را درحالی‌که هوا از میان حفرات و محیط فیلتر عبور می‌کند، به دام می‌اندازد. در تصاویر زیر مقایسه ای ریزساختاری بین کاغذ بدون پوشش نانو و کاغذ دارای پوشش نانو نشان داده شده است.



(الف) (ب)
 شکل ۱-۵- مقایسه کاغذ (الف) بدون پوشش نانو و (ب) دارای پوشش نانو

میزان راندمان فیلتراسیون این محصول مطابق با استاندارد بین المللی "Classification of particulate air filters" به شماره EN 779 مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که نتایج آن مطابق جدول ۱-۱ می‌باشد. در این جدول نتیجه مقایسه‌ای راندمان دو فیلتر با پوشش نانو الیاف و بدون پوشش نانو الیاف نشان داده شده است. اندازه گیری میزان جذب گرد و غبار بر روی فیلتر نشان دهنده کارایی فیلتر است. همانطور که مشاهده می‌شود، با اضافه شدن نانو الیاف به فیلتر، بازده فیلتراسیون یا به عبارت دیگر کارایی فیلتر در جذب ذرات افزایش یافته و راندمان فیلتر با پوشش نانو الیاف در جذب ذرات آلاینده بسیار بالاتر از فیلتر بدون پوشش نانو الیاف است. این محصول توسط شرکت مختلفی نظیر ماشین سازی اندیشه شمال و آزاد فیلتر ارائه شده‌است.

جدول ۱-۱- مقایسه راندمان فیلتر نانو با محصول معمولی

راندمان جذب ذرات (%)		اندازه ذرات گرد و غبار (µm)
فیلتر معمولی	فیلتر نانو	
۸/۰۱	۴۴/۷۸	۰/۳
۲۱/۷۹	۶۵/۱۳	۰/۵
۳۲/۵۳	۷۵/۰۷	۰/۷
۴۳/۶۷	۸۱/۲	۱
۶۳/۹۷	۹۰/۹۹	۲
۹۸/۲۹	۱۰۰	۵

پلی وینیل کلراید سخت (UPVC) در تولید رنج وسیعی از لوله‌ها و اتصالات پلاستیکی به کار می‌رود. این ماده به‌طور قابل توجهی در برابر فرسایش شیمیایی مقاوم بوده و دارای دیواره‌های داخلی صاف‌تر نسبت به دیواره‌های خارجی است که به تقویت جریان آب کمک می‌کند. UPVC دارای مقاومت شیمیایی بالا در محدوده دمای عملیاتی آن و گسترده‌گی مناسبی از نظر فشارهای عملیاتی می‌باشد. به دلیل ویژگی‌های استحکام طولانی‌مدت، سختی بالا و مقرون‌به‌صرفه بودن، سیستم UPVC برای بخش عظیمی از اتصالات لوله‌های پلاستیکی در نظر گرفته می‌شود. افزودن نانو مواد به‌طور قابل توجهی استحکام و سختی لوله و اتصالات را بهبود می‌بخشد. این محصول به‌عنوان اتصالات لوله‌های UPVC حاوی نانوذرات معرفی می‌شود که بر اساس آزمون‌های استاندارد ملی ایران به شماره ۹۱۱۹-۱ تست شده و مورد تایید قرار گرفته است.



شکل ۱-۶- اتصالات UPVC مقاوم به ضربه حاوی نانو مواد افزودنی

نانوذرات به‌عنوان نانوفیلرها به‌طور قابل توجهی استحکام، مدول و سفتی ماتریس پلیمری را افزایش می‌دهند. پس از افزودن نانوذرات، شکست محصول در آزمون سقوط وزنه مطابق با آزمون ملی استاندارد ۹۱۱۹-۱ بهبود یافته است. این محصول باید توسط یک کارشناس فنی نصب شود. به دور از نور مستقیم خورشید نگهداری شده و از آسیب رساندن به آن خودداری شود. این محصول توسط شرکت مختلفی نظیر مجتمع تولید لوله و اتصالات پلیمر یاس، پویا پلیمر ظریف کار برتر، پیشگام پلاست اهواز، گلسار پلیمر پاد و تولیدی لوله و اتصالات حمید ارائه شده است.

۴-۱-۲-۱- کاتالیست و پایه کاتالیست

۱-۲-۱-۴-۱- کاتالیست سولفورزدایی از جریان گاز طبیعی

در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، جهت کنترل خوردگی تجهیزات، و ممانعت از سُمی شدن کاتالیزور در فرایندهای پایین دستی و رعایت اصول محیط زیستی، حذف اجزای اسیدی گازی حائز اهمیت است. یکی از عوامل مخرب در فعالیت کاتالیست‌ها و در نتیجه عاملی در کاهش بازده واحدهای تولیدی، وجود سولفور در جریان‌های گازی مانند گاز طبیعی است. از این رو زدودن سولفور به صورت H_2S از واحدهای صنعتی قبل از ورود به راکتور، مهم است. خواص فیزیکی کاتالیست سولفورزدایی در جدول ۱-۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۱-۲- خواص فیزیکی کاتالیست سولفورزدایی

خصوصیات فیزیکی محصول		
سطح موثر نمونه (m ² /g)	نمونه شاهد (فاقد نانوذرات)	۲۵/۹۴
	جاذب حاوی نانوذرات	۵۰
ظرفیت جذب سولفور (g Sulfur/g abs)	نمونه شاهد (فاقد نانوذرات)	۰/۲۷
	جاذب حاوی نانوذرات	۰/۳۱

حذف سولفید هیدروژن از گاز طبیعی توسط اکسیدهای فلزی مانند اکسید روی، اکسید کلسیم، اکسید آهن، اکسید مس و اکسید منگنز می‌تواند انجام شود. اکسید روی به علت داشتن ثابت تعادل بالای خود، یکی از مهمترین عوامل سولفورزدا از گاز طبیعی، گاز سنتز و جریان دی اکسید کربن در صنایع پتروشیمی و فولاد است، که معمولا در دمای ۳۷۰ درجه سانتی گراد به کار می‌رود. جاذب های نانوساختار اکسید روی به علت دارا بودن سطح زیاد، واکنش پذیری بالا و یکپارچگی ساختاری، کارایی بالایی در سولفورزدایی دارند. همچنین به منظور بهبود پایداری جاذب روی در محیط های احيائي، از پايدارکننده های مختلفی همچون اکسیدهای تیتانیم، زیرکیم و آلومینیم استفاده می شود. کاربرد اصلی این کاتالیست، حذف گوگرد از گاز متان قبل از ورود به سیستم رفورمینگ و در نتیجه جلوگیری از تخریب کاتالیستهای رفورمینگ در واحدهای تولید گاز سنتز می‌باشد. در واقع استفاده از نانوذرات در تولید جاذب سولفورزدا، موجب افزایش سطح موثر و بهبود خاصیت جذب و در نتیجه افزایش راندمان سولفورزدایی شده است. این محصول توسط شرکت گسترش فناوری خوارزمی ارائه شده‌است. در شکل ۱-۷ این محصول مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۷- کاتالیست سولفورزدایی از جریان گاز طبیعی

۱-۲-۴-۲- نانوکاتالیست سنتز متانول

متانول (CH₃OH) در دسته الکلهای قرار داشته و یکی از محصولات شیمیایی اصلی در صنایع نفت و گاز است که با یک فرایند کاتالیستی از گاز سنتز می‌شود. تقریباً ۷۰٪ از متانول تولیدی در جهان در سنتزهای شیمیایی استفاده می‌شود. متانول ماده مورد نیاز در تولید بنزین بدون سرب، فرمالدهید، دی متیل اتر، پروپیلن و سوخت ورودی در سلول های سوختی جهت تولید هیدروژن است. متانول به طور گسترده به عنوان حلال صنعتی و آزمایشگاهی، برای استخراج، شستشو، خشک کردن و تبلور مجدد مورد استفاده قرار می‌گیرد و یک فراورده مهم پتروشیمیایی برای تهیه محصولات گوناگونی مانند، بطری نوشابه، رنگها، تخته‌های چغندر، کاغذهای سفید شده و فرشهای پلی‌استر است.

کاتالیست $\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ از جمله کاتالیست‌های تجاری سنتز متانول از گاز سنتز است که به روش رسوبگیری، در اثر واکنش کربنات‌ها با نیترات‌های این فلزات و به کمک فرایند هم‌رسوبی نمک‌های آنها به دست می‌آید. علی‌رغم آنکه بیش از سه دهه است که از کاتالیست سنتی بر اساس مس ارتقا یافته استفاده تجاری می‌شود، هنوز در راستای بهبود کارایی آن تلاش می‌گردد. استفاده از نانوذرات موجب بهبود چشمگیر قابلیت کاتالیستی شده و افزایش بازده تولید را به همراه دارد. این محصول مطابق شکل ۱-۸ به صورت قرص‌های کوچک تولید شده و با خواص ارائه شده در جدول ۱-۳ مورد استفاده قرار می‌گیرد. دستیابی به ساختار بر پایه نانوذرات با ابعاد کمتر از ۲۰ نانومتر منجر به افزایش سطح فعال و به دنبال آن بالا رفتن اکتیویته محصول شده است.



شکل ۱-۸- نانو کاتالیست سنتز متانول

جدول ۱-۳- خواص نانو کاتالیست سنتز متانول

قرص	شکل فیزیکی محصول
کمتر از ۲۰ nm	ابعاد جزء نانومتری
93.4 m ² /g	سطح موثر کاتالیست
26.9 nm	میانگین اندازه حفرات
اکسید مس اکسید روی اکسید آلومینیوم	فازهای موجود

به منظور بررسی خاصیت کاتالیستی این محصول، آزمون در سیستم کاتالیستی (Catatest) روی نمونه تولید شده و یک نمونه صنعتی (MEGA MAX700) انجام و گازهای خروجی با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی اندازه گیری شد. مقایسه نتایج حاصل از آزمون کاتالیستی نمونه تولید شده و نمونه صنعتی، بیانگر انطباق بسیار مناسب این دو محصول است. با استناد به بند ۴-۴ استاندارد ملی ایران-ایزو به شماره ۲-۸۰۰۰۴ این محصول حاوی نانوذرات (Nanoparticles) بوده و قابلیت قرارگیری در حوزه فناوری نانو را داراست. این محصول توسط شرکت توسعه صنایع نفت و گاز سرو و با مشخصات ارائه شده در جدول ۱-۴ تولید شده است.

جدول ۱-۴- نتایج تست کاتالیست محصول تولیدی

مقدار اندازه گیری شده (درصد مولی)	پارامتر اندازه گیری شده حاصل آزمون کاتالیست
۱۰/۲۴	مقدار متانول در گاز خروجی (نمونه صنعتی)
۹/۵۱	مقدار متانول در گاز خروجی پس از ۴۸ ساعت (نمونه صنعتی)
۱۰/۰۱	مقدار متانول در گاز خروجی (محصول نهایی)
۹/۵۸	مقدار متانول در گاز خروجی پس از ۴۸ ساعت (محصول نهایی)

۱-۲-۱-۳-۴- کاتالیست انتقال آب-گاز دما پایین

فرآیند انتقال آب-گاز یکی از قدیمی‌ترین واکنش‌های کاتالیستی ناهمگن می‌باشد که در صنعت برای تولید هیدروژن با خلوص بالا و کاهش کربن مونوکسید از گاز سنتز به کار می‌رود. کاتالیست‌ها در بیشتر صنایع شیمیایی و در تمام پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها به‌عنوان یک ماده حیاتی برای سرعت بخشیدن به واکنش‌های شیمیایی استفاده می‌شوند. کاتالیست انتقال گاز - آب دما پایین (Low Temperature Water Gas Shift) یکی از کاتالیست‌های پرکاربرد است که درون راکتورهای شیف‌ت گاز - آب دما پایین جهت تبدیل مونوکسید کربن به هیدروژن مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاتالیست‌های دما پایین انتقال آب-گاز از لحاظ ظاهری به شکل قرص‌های استوانه‌ای به رنگ خاکستری تیره می‌باشند که توسط فرآیند هم رسوبی تولید می‌شوند. این کاتالیست‌ها در مجتمع‌های پتروشیمی تولید آمونیاک و شرکت‌های پالایش نفت به منظور خالص‌سازی هیدروژن کاربرد دارند. به طور کلی وظیفه این کاتالیست‌ها به مانند کاتالیست‌های دما بالای انتقال آب-گاز این است که میزان مونوکسید کربن موجود در جریان گازی خروجی از راکتور دما بالای انتقال آب-گاز را که تا حدود ۳ درصد مولی کاهش پیدا کرده بود را در راکتورهای بستر ثابت در واکنش با بخار آب به زیر ۰/۵ درصد حجمی یا مولی برسانند. پایین تر بودن دمای راکتور حاوی این کاتالیست‌ها در قیاس با راکتورهای دما بالا در واقع علت نامیده شدن دما پایین بر روی آن است. فلز فعال کاتالیستی در این نوع کاتالیست‌ها مس می‌باشد که پس از احیاء کاتالیست درون راکتور و تبدیل اکسید مس به مس، خاصیت کاتالیستی پیدا می‌کند. برای حداکثر کارایی این کاتالیست‌ها لازم است که بیشترین سطح فعالیت کاتالیستی را داشته باشند. با ورود فناوری نانو به این صنعت و تولید نانوکاتالیست‌های با سطح فعال قابل توجه، تحولی عظیم در کارایی آن‌ها به‌وجود آمده است. این محصول به صورت قرص‌های کوچک مطابق شکل ۱-۹ و جدول ۱-۵ تولید شده و درون راکتورهای صنعتی بارگذاری و مورد استفاده قرار می‌گیرد. دستیابی به ریزساختار نانو حاوی ذرات با ابعاد کمتر از ۲۰ نانومتر در این محصول سطح فعال بیشتر برای محصول و به دنبال آن اکتیویته بیشتری را به همراه داشته است.

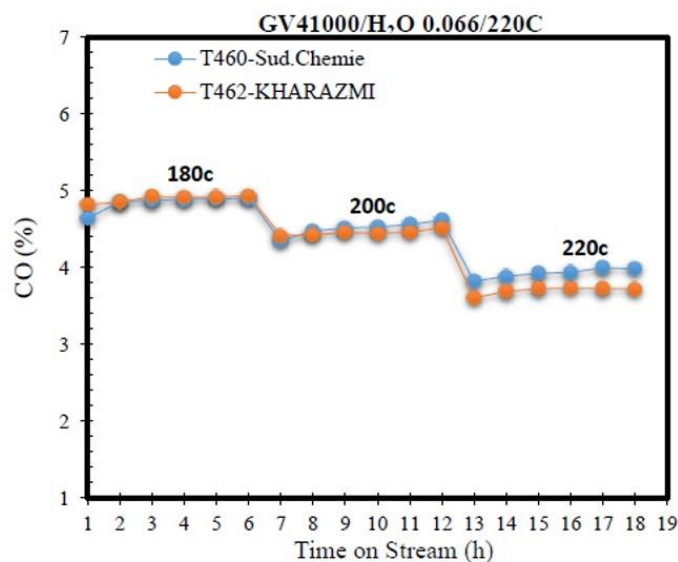
جدول ۱-۵- مشخصات کاتالیست انتقال آب-گاز دما پایین

قرص	شکل فیزیکی محصول
کمتر از ۲۰ نانومتر	ابعاد جزء نانومتری
۱۰۳ m ² /g	سطح موثر کاتالیست



شکل ۱-۹- قرص‌های کوچک کاتالیست انتقال آب-گاز دما پایین

با استناد به بند ۴-۴ استاندارد ملی ایران- ایزو به شماره ۲-۸۰۰۰۴ این محصول حاوی نانوذرات (Nanoparticles) بوده و قابلیت قرارگیری در حوزه فناوری نانو را دارا می‌باشد. به منظور بررسی خاصیت کاتالیستی این محصول، آزمون در سیستم کاتالیستی (Catatest) روی نمونه تولید شده و یک نمونه صنعتی (شرکت Sud-chemie) انجام و گازهای خروجی با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی اندازه گیری شد. مقایسه نتایج حاصل از آزمون کاتالیستی نمونه تولید شده و نمونه صنعتی در شکل ۱-۱۰، بیانگر انطباق بسیار مناسب این دو محصول است. این محصول توسط شرکت گسترش فناوری خوارزمی تولید شده‌است.



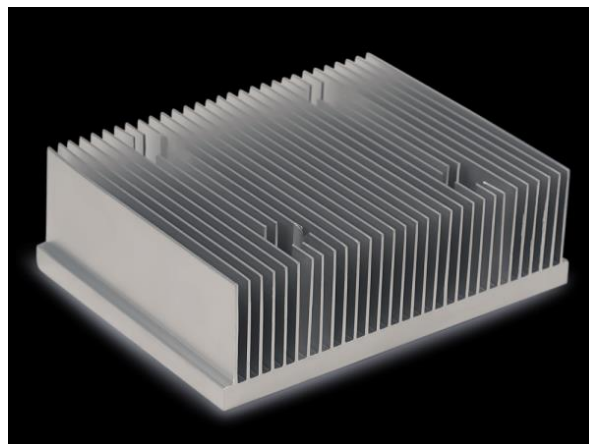
شکل ۱-۱۰- مقایسه نتایج حاصل از آزمون کاتالیستی نمونه تولید شده و نمونه صنعتی

۵-۱-۲-۱- انتقال حرارت

۵-۱-۲-۱-۵-۱- هیت سینک آلومینیومی با پوشش آلومینای نانو متخلخل

هیت سینک یک مبدل حرارتی غیرفعال است که گرمای تولیدشده توسط یک وسیله الکترونیکی یا مکانیکی را به محیط سیال (اغلب هوا و یا خنک‌کننده مایع) منتقل می‌کند و در نتیجه این امر دمای آن وسیله در سطوح بهینه خود تعدیل می‌شود. در رایانه‌ها، هیت سینک‌ها برای خنک کردن واحدهای پردازش مرکزی یا پردازنده‌های گرافیکی استفاده می‌شود. آندایز کردن یک فرایند الکتروشیمیایی برای تبدیل سطوح فلزی به سطوحی بادوام، مقاوم در برابر خوردگی و اکسیداسیون آندی می‌باشد. در بین فلزات آلومینیوم برای آندایز کردن ایده آل می‌باشد؛ اگرچه فلزات غیر آهنی دیگر از قبیل منیزیم و تیتانیوم نیز می‌توانند آندایز شوند. آندایزینگ با غوطه‌ور کردن آلومینیوم درون حمام الکترولیت اسیدی و عبور دادن یک جریان الکتریکی از حمام انجام می‌شود. یک کاتد درون تانک آندایزینگ نصب می‌شود، آلومینیوم به‌عنوان یک آند عمل کرده آن چنانکه یون‌های اکسیژن از الکترولیت آزاد شده تا با اتم‌های آلومینیوم در سطح بخش آندایز شده ترکیب شوند. در محصول مدنظر، لایه نانو متخلخل آلومینا روی سطح هیت سینک آلومینیومی با روش آندایزینگ پوشانده می‌شود که این منجر به افزایش مقاومت در برابر خوردگی و انتقال حرارت آن می‌گردد.

قطعات هیت سینک به‌طور کلی در خنک‌کننده ریزپردازنده‌ها، لامپ‌های دیودی، لحیم‌کاری و غیره به کار می‌روند. این محصول به‌عنوان یک هیت سینک آلومینیومی پوشانده شده با پوشش آلومینای نانو متخلخل شناخته می‌شود که حاوی حفره‌هایی با قطر کمتر از ۱۰ نانومتر است. این محصول در مقایسه به قطعه بدون پوشش نانو ساختار بهبود قابل توجهی در مقاومت در برابر خوردگی و انتقال حرارت از خود نشان می‌دهد. نمایی از این محصول در شکل ۱-۱۱ مشاهده می‌شود. این محصول توسط شرکت نانو آبکار ایساتیس تولید شده‌است.



شکل ۱-۱۱- هیت سینک آلومینیومی با پوشش آلومینای نانو متخلخل

میزان "ضریب نشر حرارتی" این محصول مطابق با آزمون "اندازه‌گیری ضریب نشر حرارتی" و میزان "مقاومت به خوردگی" آن مطابق با آزمون "پلاریزاسیون" مورد ارزیابی قرار گرفتند که نتایج آن مطابق جدول ۱-۶ می‌باشد.

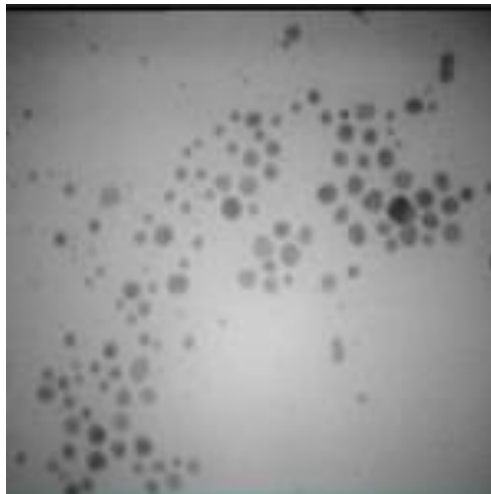
جدول ۱-۶- مقایسه نتایج ضریب نشر حرارتی و مقاومت به خوردگی هیت سینک نانو متخلخل و معمولی

نمونه	میانگین ضریب نشر حرارتی	مقاومت به خوردگی (Ω/cm^2)
شاهد	۰/۵	۱۱۴۶/۶۳
نانو	۰/۹۸	۳۵۱۵۷۷

طبق نتایج فوق میانگین ضریب نشر حرارتی در رنج دمایی مشخصی برای قطعه آلومینیمی آندایز شده (نمونه نانو) بالاتر از قطعه آلومینیمی بدون پوشش (نمونه شاهد) است زیرا نسبت بالای مساحت سطح به حجم نانو تخلخل‌ها منجر به افزایش انتقال حرارت می‌گردد. طبق نمودار "ضریب نشر حرارتی بر حسب دما" که در فایل پیوست موجود است، ضریب نشر حرارتی برای قطعه آلومینیمی بدون پوشش با افزایش دما افت چشمگیری پیدا می‌کند؛ درحالی‌که این ضریب برای قطعه آلومینیمی آندایز شده با افزایش دما تغییر ملموسی ندارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار مقاومت به خوردگی نمونه دارای پوشش در مقایسه با نمونه بدون پوشش افزایش می‌یابد.

۲-۵-۱-۲-۱- کلوئید نقره با کاربرد افزایش انتقال حرارت

فلزها رساناهای خوبی به شمار می‌روند و گرما را به راحتی انتقال می‌دهند. رسانایی گرمایی به رسانایی الکتریکی مربوط می‌شود به طوری که رساناهای خوب الکتریکی، رساناهای خوب حرارتی نیز می‌باشند. انتقال حرارت، تبادل انرژی گرمایی بین سامانه‌های فیزیکی محسوب می‌شود. میزان انتقال حرارت به دمای سیستم و خواص محیطی که در آن انتقال صورت می‌گیرد بستگی دارد. انتقال حرارت در راستایی که آنتروپی بخشی از سیستم را افزایش می‌دهد اتفاق می‌افتد. نقره یک فلز واسطه نرم، سفید و براق است که دارای بیشترین رسانایی الکتریکی، گرمایی و درخشندگی در میان تمام فلزات می‌باشد. پوشش دهی سطوح فلزات با نقره به افزایش ضریب انتقال حرارت زیر لایه منجر می‌گردد. نانوذرات نقره جزء تجاری‌ترین نانوذرات در جهان به شمار می‌روند. افزایش میزان سطح مؤثر در زمان تبدیل نقره بالک به نانوذرات نقره باعث بیشتر شدن سرعت انتقال حرارت در پوشش‌های ایجادشده با این ماده می‌گردد. پوشش‌های سطحی که برای افزایش انتقال حرارت سطح به کار می‌روند، بازدهی وسایل گرمایشی را افزایش می‌دهند. این پوشش‌ها باعث افزایش سرعت انتقال حرارت سطحی در مبدل‌های حرارتی نیز می‌گردند. این محصول یک محلول کلوئیدی حاوی ذرات نقره است. ذرات کروی نقره در این محصول دارای اندازه متوسط ۲۵ نانومتر می‌باشند. ادعا می‌شود که با اسپری کردن این محصول روی سطوح داغ، فرایند انتقال حرارت از این سطوح سریع‌تر اتفاق می‌افتد. با کاهش اندازه ذرات و ورود به مقیاس نانو، نسبت مساحت سطح به حجم ذرات نقره افزایش یافته که باعث افزایش میزان انتقال حرارت در سطح می‌گردد. میزان "انتقال حرارت" این محصول که در شکل ۱-۱۲ مشاهده شده و توسط شرکت نانو پوشش فلز تولید شده است، توسط دماسنج لیزری مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن مطابق جدول ۱-۷ می‌باشد.



شکل ۱-۱۲- نانو کلوتید نقره

میزان "انتقال حرارت" این محصول با اندازه‌گیری دمای سطح لوله ی حرارت داده شده با استفاده از "دماسنج لیزری" در دو حالت "لوله پوشش داده شده با نقره" و "لوله فاقد پوشش"، بررسی شد و همانطور که مشخص است افزایش دمای سطح لوله دارای پوشش نقره بیانگر افزایش میزان انتقال حرارت از درون لوله به بیرون است و نتیجه می‌دهد پوشش‌دهی سطوح فلزات با نقره منجر به افزایش ضریب انتقال حرارت زیر لایه می‌گردد.

جدول ۱-۷- مقایسه انتقال حرارت نمونه با پوشش‌دهی نانونقره و بدون آن

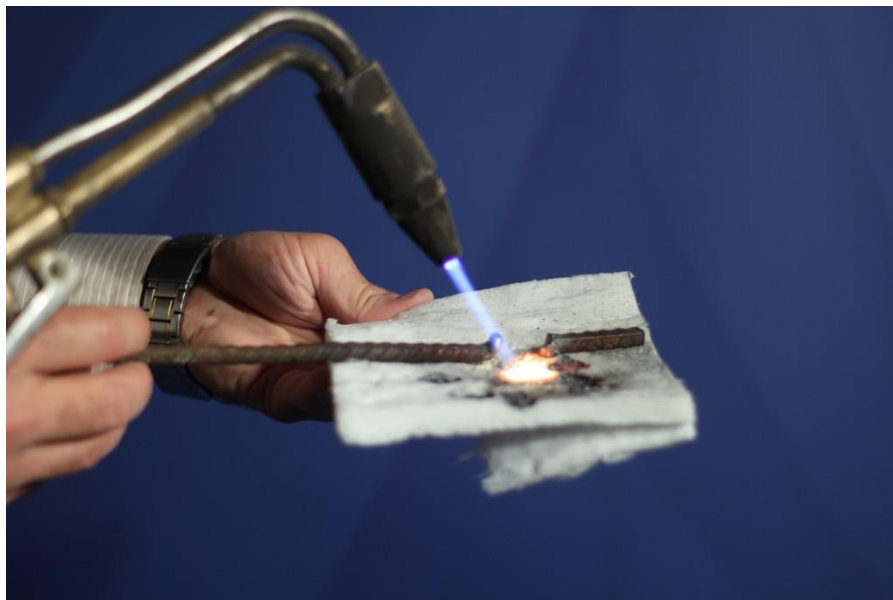
دمای سطح لوله (°C)	نمونه
۳۳	شاهد (بدون پوشش نانونقره)
۷۰	نانو (با پوشش‌دهی نانونقره)

برای حفظ کیفیت و ماندگاری این کلوتید، باید در مکان تاریک و خنک نگهداری شود. بنابراین برای حفظ پایداری محلول کلوتیدی بهتر است در بطری‌های کهربایی نگهداری شوند. محلول کلوتید نقره باید از منجمد شدن محافظت شود زیرا در این شرایط نقره فلزی کلوخه شده و به‌تدریج باعث پایین آمدن کیفیت محصول می‌گردد. نانوذرات نقره با محیط‌زیست سازگار هستند. مضرترین عوارض جانبی استفاده از کلوتید نقره بر روی بدن انسان شرایطی است که آرگیریا (argyria) نامیده می‌شود. این عارضه باعث خاکستری شدن دائمی پوست و چشم می‌شود اما هیچ‌گونه اثر منفی بر روی سلامتی نخواهد داشت. همچنین ادعا می‌شود که نقره با دیگر داروهای شیمیایی و گیاهی برهم‌کنش نمی‌کند.

۳-۵-۱-۲-۱- بلنکت ایروژل سیلیکا

بلنکت‌های هواژل شامل هواژل‌های قرار گرفته بر روی بسترهای انعطاف‌پذیر می‌باشند. وجود بستر، ضعف‌های مکانیکی هواژل را در عین حفظ خواص منحصر به فرد هواژل‌ها رفع می‌کند. بلنکت‌های هواژل بهترین عایق‌های حرارتی، صوتی و رطوبتی در دنیا هستند و در دماهای مختلف کاری پایین و بالا به کار می‌روند. بلنکت‌های هواژل شرکت پاکان آتیه دارای بهترین کیفیت حرارتی، صوتی و رطوبتی بوده و مقاومت حرارتی آنها حداقل ۴ برابر از بهترین عایق‌های موجود

بهتر می‌باشد. بلنک‌های هواژل رنگ روشن تا دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد آتش نگرفته و ذوب نمی‌شوند. نمونه‌ای از این محصول در شکل ۱-۱۳ آورده شده‌است.



شکل ۱-۱۳- بلنک ایروژل سیلیکا

آیروژل (هواژل) ماده‌ای نانو متخلخل سنتز شده از یک ژل است که در آن جزء مایع ژل با یک گاز بدون افت حجمی جایگزین شده است. آیروژل سیلیس معمول‌ترین نوع آیروژل است که از سیلیکاژل مشتق می‌شود. آیروژل‌ها حاوی میکروتخلخل‌ها (حفرات با قطر کمتر از ۲ نانومتر)، مزوتخلخل‌ها (حفرات با قطر بین ۲ تا ۵۰ نانومتر) و ماکروتخلخل‌ها (حفرات با قطر بیش از ۵۰ نانومتر) هستند و عمدتاً میانگین قطر حفرات حدود ۲۰ نانومتر است. این مواد از خواص بی‌نظیری مانند سطح ویژه بالا (بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ مترمربع بر گرم)، تخلخل (۸۵ تا ۹۹.۸ درصد)، چگالی پایین، هدایت حرارتی کم، شفافیت بالا و ثابت دی‌الکتریک بسیار پایین برخوردار هستند. آیروژل‌ها در موارد مختلفی مانند عایق حرارتی در شیشه‌ها و سقف‌های نیمه شفاف، کاتالیست به علت سطح ویژه بالا، مواد آبریز، عایق‌بندی لباس فضانوردان، محافظت حرارتی غواصان و سیستم‌های انتقال دارو به کار می‌روند. بنابراین این محصول در دو کاربرد کلی عایق حرارتی و محافظت در برابر آتش استفاده می‌شود. از خواص ویژه این محصول که توسط شرکت پاکان آتیه نانو دانش تولید شده‌است، می‌توان به موارد زیر و جدول ۱-۸ اشاره کرد:

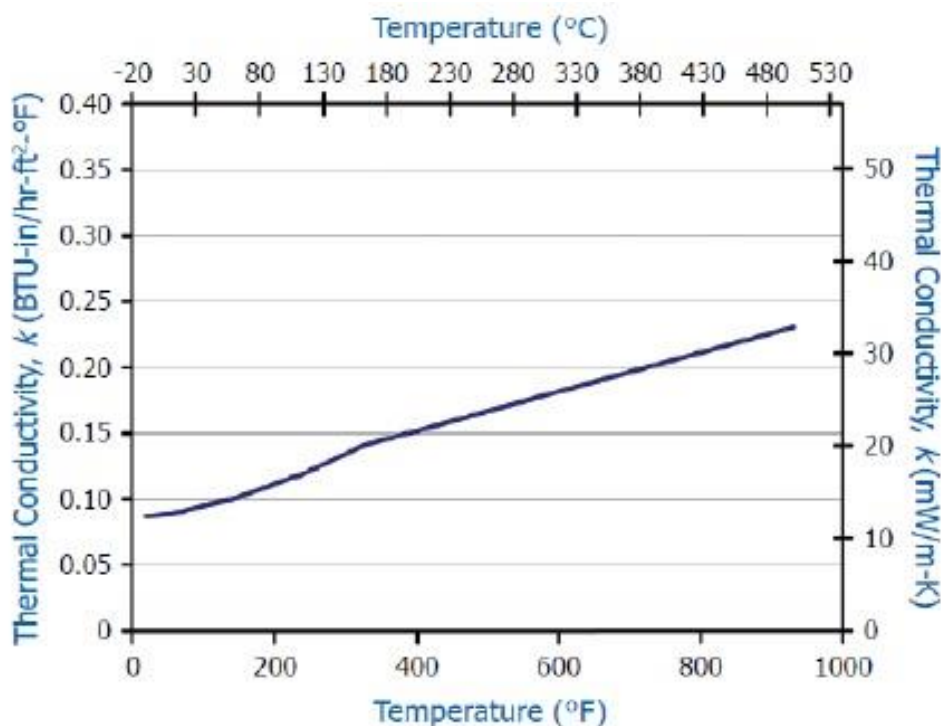
- ممانعت از انتقال حرارت از طریق تابش
- عدم تولید دود یا آلاینده شیمیایی در اثر قرارگیری تحت شعله مستقیم
- انعطاف‌پذیر
- سهولت استفاده
- آبریز با قابلیت عبور بخار آب

جدول ۱-۸- مشخصات بلنک ایروژل سیلیکا

مقدار	مشخصه
۵-۱۰	ضخامت (mm)
۶۵۰	بیشترین دمای کاری ممکن (°C)
۱/۸	میزان جذب بخار آب (%)

مقاومت در برابر آتش	Passed Euroclass A2
انقباض در اثر حرارت	کمتر از ۱/۵ درصد در دمای 650°C
استحکام فشاری در کرنش ۲۵ درصد (psi)	۲۶/۶ - ۲۸/۶

استفاده از سیلیکا آبروژل موجب بهبود خاصیت عایق بلنکت تولید شده در شرکت پاکان آتیه شده است. آزمون تعیین ضریب هدایتی بر اساس استاندارد ملی به شماره ۸۶۲۱ انجام شد و نتایج در جدول ۹-۱ و شکل ۱۴-۱ نمایش داده شده است. بر اساس بند ۲.۷ استاندارد ISO-TS-80004 محصول حاضر در دسته nanostructured material قرار می‌گیرد و بر اساس بند ۲-۴۳ استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۰۹۸، در دسته نانومتخلخل قرار دارد.



شکل ۱-۱۴- تغییرات هدایت حرارتی بلنکت آبروژل سیلیکا با افزایش دما

جدول ۱-۹- مقایسه ضریب هدایت حرارتی بلنکت آبروژل سیلیکا و معمولی

نمونه	ضریب هدایت حرارتی (W/mk)
شاهد (فاقد آبروژل)	۰/۰۳۲
حاوی سیلیکا آبروژل	۰/۰۰۲

۶-۱-۲-۱- اکسپندر باتری

باتری خودرو یک باتری قابل شارژ است که جریان الکتریکی را برای یک وسیله نقلیه موتوری تأمین می‌کند. در طول سال‌هایی که محققان عملکرد باتری را بهینه کرده‌اند، دغدغه تکنیکی اصلی کار با باتری تأمین نیرو، تماس پیوسته و برهمکنش واکنشگرها با مواد الکترود و الکترولیت می‌باشد. این امر به تأمین مقدار کافی اسید، مواد فعال با مساحت سطحی بالا، تماس خوب بین ذرات مواد فعال (به‌طور ویژه در ورقه‌های مثبت که تمایل به انبساط در طول چرخه شارژ-دشارژ دارند) و به حداقل رساندن اثرات عایق PbSO_4 نیازمند است. مهم‌ترین دغدغه، محدودیت باتری سرب-

اسید است که به واسطه واکنش پایه بین الکترودهای مثبت و منفی اتفاق می‌افتد و مانع انتقال سریع الکترون می‌شود. فناوری نانو تمامی شرایط فوق را به منظور عملکرد بهتر باتری تأمین کرده و محدودیت‌های این باتری‌ها را با تولید ماده الکتروود با مساحت سطح فعال زیاد و بازدهی بالا برطرف می‌کند. این محصول به‌عنوان اکسپندر باتری سرب-اسید حاوی نانوذرات معرفی می‌شود و توسط شرکت تولیدی مواد شیمیایی نانوشیمی نوین ایرانیان تولید شده‌است. نانوذرات به دلیل مساحت سطحی زیاد و در نتیجه مساحت تماس بالاتر الکتروود/الکترولیت، میزان بالاتری از شارژ/دشارژ را نشان داده و مسیر کوتاهی برای انتقال سریع بار ایجاد می‌کنند. این محصول به‌طور قابل توجهی بهبود در پارامترهای کیفی را در مقایسه با اکسپندرهای مرسوم نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۵- باتری خودرو شرکت تولیدی مواد شیمیایی نانوشیمی نوین ایرانیان

۷-۱-۲-۱- ژئوممبران آنتی باکتریال

ژئوممبران یک حائل غشایی مصنوعی با نفوذپذیری بسیار کم است که در پروژه‌های مختلف حوزه مهندسی ژئوتکنیک به‌منظور کنترل نشت آب یا گاز استفاده می‌شود. اثبات شده است که ژئوممبران‌ها در این کاربرد بسیار مؤثرتر از محصولات سنتی از قبیل بتن، آسفالت و کلی فشرده می‌باشند. این محصول طیف وسیعی از خواص مقاومت فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی برای محافظت محیط‌زیست و منابع آبی ما از خود نشان می‌دهند. قابل‌ذکر است که اثر ضد باکتریایی نانو کامپوزیت پلیمر-نقره پایدار است و بازدهی ضد باکتریایی خوب آن در برابر گونه‌های مختلف باکتری‌ها مشاهده شده است. یون‌های نقره و ترکیبات آن برای طیف وسیعی از باکتری‌ها بسیار کشنده است. آن‌ها سمیت خیلی کمی را برای سلول‌های بدن انسان نشان می‌دهند، آن‌چنانکه استفاده از نقره در اشکال مختلف یک روش رایج برای محافظت در مقابل باکتری‌ها است. ژئوممبران دارای تنوع وسیعی از کاربردها از قبیل ایجاد زه کشی برای آب آشامیدنی، مایعات پسماند و غیره است. این محصول می‌تواند به‌طور خاص به‌عنوان یک پوشش عایق برای محافظت و ذخیره‌سازی آب برای استخرهای کشاورزی و پرورش ماهی استفاده شود. این محصول که به‌عنوان ژئوممبران حاوی نانوذرات نقره شناخته می‌شود، توسط شرکت تولیدی صنعتی دکاموند تولید شده و خاصیت آنتی‌باکتریال مطابق با آزمون استاندارد ۱۰۹۰۰ از خود نشان می‌دهد.

اثر ضد باکتریایی نقره به‌طور چشمگیری در بعد نانومتری افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که آن‌ها قادر به از بین بردن بیش از ۶۵۰ نوع باکتری هستند. این نانوذرات فعالیت‌های ضد قارچی شدیدی نیز در مقابل بعضی از عفونت‌های قارچی از خود نشان می‌دهند. نانوذرات نقره با ترکیبات سولفور و فسفر پروتئین‌های غشاء واکنش داده و بر روی مورفولوژی و

ساختار سلول باکتری اثر گذاشته و موجب مرگ آن می‌شود. با کاهش اندازه ذره، رهایش یون‌های نقره افزایش یافته که این موجب افزایش فعالیت‌های ضد باکتریایی آن‌ها می‌شود.

۳-۱- دستاورد های مرکز توسعه فناوری نانو در صنعت برق

یکی از حوزه‌هایی که نانوفناوری می‌تواند نقش مهمی در آن ایفاء نماید صنعت برق و انرژی است که صرف بودجه جهت تحقیق و توسعه در این بخش، در صورت هدمند بودن، در بازه‌های زمانی کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری گردد. با توجه به رشد و توسعه پرشتاب فناوری نانو، استفاده و بکارگیری این فناوری در صنایع مختلف از جمله برق و انرژی اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد. کارشناسان و مدیران عرصه فناوری نانو بر این باورند که استفاده از این فناوری در صنایع مختلف باعث افزایش رقابت‌پذیری آنها شده و اگر صاحبان صنایع به فناوری نانو توجه نکنند به مرور زمان قدرت رقابت خود را از دست می‌دهند.

فناوری نانو کمک می‌کند تا انرژی‌های مختلف با بازدهی بیشتری برق تأمین کنند یا حتی روش‌های دیگری برای تأمین انرژی ایجاد شود. در انتقال انرژی تا تحویل آن به واحدهای مصرف کننده فناوری نانو کمک می‌کند که اتلاف انرژی کاهش یابد. در ذخیره انرژی به طور مشخص ذخیره انرژی در باتری‌ها و خازن‌ها به کمک فناوری نانو افزایش یافته‌است. فناوری نانو در کاهش میزان مصرف برق و بهینه سازی مصرف سوخت و کاهش آلاینده‌ها نیز موثر است و روش‌هایی را پیشنهاد می‌کند که با تغییری اندک، آسیب‌های وارد به محیط کاهش می‌یابد.

از جمله موارد کاربرد نانوفناوری در صنعت برق می‌توان به استفاده از نانوپودرها و بدنه‌های نانوساختار در ساخت کلیه تجهیزات مورد استفاده در این صنعت بواسطه ارایه کارایی بسیار بهتر و حداقل مصرف انرژی، ساخت فریت‌های مغناطیسی با حداقل تلفات مورد استفاده در موتورهای و ژنراتورهای الکتریکی، سنسورها و کنترلرهای هوشمند با دقت و حساسیت بسیار بالا، سلول‌های خورشیدی با ارایه بازدهی تبدیل بالا، پیل‌های سوختی با حداکثر کارایی، پوشش‌های پره‌های توربین با مقاومت به خوردگی و سایش بسیار بالا، پوشش‌های خودتمیز شونده مورد استفاده در مقره‌های پرسلانی، شیشه‌های با پوشش نانو ساختار عایق حرارتی، پوشش‌های نانوساختار ضد آب، نانولوله‌های کربنی مورد استفاده در سیستم‌های ذخیره ساز انرژی باحداکثر توان، عایق‌های الکتریکی نانو ساختار روان‌کارهای نانوساختار ترمیم‌کننده سطوح، مولدهای ترموالکتریک، نانوباطری‌ها، نانوسیم‌ها، نانسولیت‌ها، نانوکیت‌های مغناطیسی با هدف صرفه‌جویی در مصرف سوخت مشعل‌ها، کاتالیست‌های نانوساختار، وریستورهای اکسیدروی، لامپ‌های کم‌مصرف با پوشش نانوساختار، نانوفیلترهای نیروگاهی، سازه‌های بتنی مقاوم، تصفیه‌کننده‌های هوا و ... اشاره کرد.

در بخش تولید بکارگیری فناوری نانو سبب بهبود عملکرد تجهیزات نیروگاهی و افزایش راندمان نیروگاه می‌شود. از طرفی امروزه به دلیل کاهش یافتن منابع اولیه انرژیهای فسیلی در دنیا و از طرف دیگر به دلیل ایجاد آلودگیهای شدید زیست محیطی در اثر افزایش مصرف این منابع، توجه خاصی به منابع جدید تامین انرژی مانند انرژی‌های خورشیدی، بادی و ... می‌شود. اما استفاده از این منابع مستلزم دستیابی به تکنولوژی تبدیل کننده این پتانسیل‌ها به انرژی‌های الکتریکی، مکانیکی و ... است.

از سوی دیگر نانو فناوری، به سبب بهبود کیفی ابزارها، مصرف کمتر مواد اولیه، مصرف کمتر انرژی، کاهش تولید مواد زائد و افزایش سرعت تولید در کشورهای پیشرفته به عنوان مهمترین روش تولید و ساخت این ابزارها، مطرح است. به کمک این فناوری گامهای موثری در جهت کاهش آلودگی زیست محیطی حاصل از سوخته‌های فسیلی، برداشته شده است. از این رو از مهمترین بسترهای بکارگیری نانوتکنولوژی در ساخت و تولید مبدل‌های انرژیهای نو (مثل سلولهای

خورشیدی و پیل‌های سوختی)، کاهش آلاینده‌های زیست محیطی نیروگاه‌های گازسوز (با استفاده از کاتالیست‌های احتراق) و افزایش راندمان این نیروگاه‌ها (با بکارگیری نانوپوشش‌ها و نانومگنت‌ها) است. در جدول ۱-۱۰ لیست محصولات نانو که می‌توانند با صنعت برق در ارتباط باشند، آورده شده‌است. این محصولات جای خودشان را در صنعت پیدا کرده و نیازی به انجام تست پایلوت ندارند.

جدول ۱-۱۰ - محصولات نانو مرتبط با صنعت برق

نام محصول	کاربرد
نانوپوشش‌های سد حرارتی پره توربین، نازل و محفظه احتراق توربین گازی	ایجاد سد حرارتی بین گازهای داغ موتور و بخش‌های فلزی که در آن دما دچار زوال می‌شوند
نانو پوشش‌های مقاوم به سایش و فرسایش پره کمپرسور توربین گاز و پره توربین بخار و پمپ‌ها	جلوگیری از تخریب و فرسایش پره‌ها
پوشش‌های نانوساختار برای جلوگیری از خوردگی لوله‌های بویلر	جلوگیری از خوردگی بر روی لوله‌های بویلر
نانوپوشش‌های با انتقال حرارت بالا و ابرآب‌گریز در کندانسورها	افزایش راندمان سیستم کندانسور
نانو پوشش‌های عایقی	جلوگیری از اتلاف حرارت
نانو افزودنی‌های سوخت نیروگاه	کاهش مصرف سوخت، کاهش آلاینده‌گی و افزایش قدرت موتور، در سوخت‌های دیزلی
مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در هسته ژنراتورها و ترانسفورماتورها	افزایش راندمان و کاهش اتلاف برق
جایگزینی آلیاژهای متداول با نانوکامپوزیت‌ها و آلیاژهای نانو کریستال	بهبود خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی و کاهش هزینه‌های تولید و نگهداری و در نتیجه هزینه‌های تولید انرژی
مولد های ترموالکتریک نانوساختار	تبدیل مستقیم حرارت تلف شده در سیستم‌های حرارتی به جریان الکتریسیته
نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی	فیلتراسیون مناسب هوای ورودی و کاهش صدمات و خسارات وارده به کمپرسور و توربین
فیلترهای نانوساختار تصفیه آب و پساب	کنترل میزان رسوب در آب ورودی نیروگاه
نانو روغن‌های روانکار	روانکاری بی نقص، انتقال حرارت با راندمان بالا و ترمیم سطوح آسیب دیده
نانو سیال‌ها با ضریب انتقال حرارت بالا	تاثیر در ضریب انتقال حرارت سیالات در توسعه تجهیزات انتقال حرارت با بازدهی بالا

همانطور که پیشتر اشاره شد، برنامه میز دستاوردها در جشنواره پژوهش وزارت نیرو، با هدف ارائه محصولات فناوری نانو در صنعت برق برای جلب نظر سایر ذی‌نفعان برای تکمیل مسیر تجاری سازی محصول برگزار شده‌است. از جمله محصولات شناسایی شده در این برنامه می‌توان به نانوپوشش و رنگ ابر آب‌گریز و ضد گرد و غبار برای تجهیزات عایقی، نانوپوشش محافظ بتن، نانوپوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار، پوشش‌های سد حرارتی نانوساختار بر پایه YSZ، غشاهای نانوساختار حاوی نانو ذرات سرامیکی جهت حذف انتخابی آلاینده از پساب‌های نیروگاهی، مواد افزودنی نانوساختار به عنوان روانکار و نانوسیال‌های خنک‌کننده نیروگاهی به منظور افزایش راندمان اشاره کرد. در ادامه اطلاعات مربوط به این محصولات آورده شده‌است.

جدول ۱-۱۱- معرفی نانوپوشش و رنگ ابر آبگریز و ضد گرد و غبار برای تجهیزات عایقی

عنوان پروژه	دستیابی به دانش فنی ساخت نانوپوشش و رنگ ابر آبگریز و ضد گرد و غبار		
اسامی سازندگان / تهیه کنندگان	اشکان ذوالریاستین، نسترن ریاحی، زهرا رجبی، مجید رضایی آبادچی، علی مهدیخانی		
نام و تلفن همراه رابط یا نماینده	دکتر اشکان ذوالریاستین، ۰۹۱۲۲۲۴۹۷۵۲		
کاربرد محصول	پوشش دهی مقره های سرامیکی برای محافظت در برابر ریز گرد ها		
ویژگی های بارز محصول یا منفعت بدست آمده	۱. ساخت نانو پوشش خود تمیز شونده و آب گریز با خواص مطلوب برای استفاده در تجهیزات عایقی صنعت برق ۲. استفاده از نانو ذرات سیلیکا برای افزایش طول عمر پوشش ها در شرایط کاری و مقاومت بهتر در برابر تخریب محیطی ۳. بهبود ۳۰ درصدی سختی پوشش های سیلیکونی ۴. افزایش ۴۶ درصدی استحکام کششی پوشش های سیلیکونی ۵. افزایش ۵۰ درصدی استحکام پارگی پوشش های سیلیکونی ۶. افزایش ۲۶ درصدی آب گریزی پوشش و بهبود خاصیت خود تمیز شوندگی		
مشخصات فنی	عنوان مشخصه	مقدار	عنوان مشخصه
	ترکیب شیمیایی	RTV1+3%SiO2	استحکام کششی
	زاویه آبگریزی	128.83 °	درصد ازدیاد طول
	سختی	54.47 Shore A	ثابت دی الکتریک
	استحکام پارگی	11.96 N/mm	استحکام دی الکتریک
ثبت اختراع / مقاله مربوط به محصول	تعداد ۶ مقاله ارسال شده برای مجلات ثبت اختراع در دست اقدام		
تصویری از محصول (عکس / نقشه یا تصویر مرتبط)			

جدول ۱-۱۲- معرفی نانوپوشش محافظ بتن

عنوان محصول	نانوپوشش بتن
واحد ارائه کننده محصول	گروه مواد غیر فلزی پژوهشگاه نیرو
عنوان پروژه	نانوپوشش ابر آبگریز برای به کار بردن در سطح پایه های بتنی
اسامی سازندگان / تهیه کنندگان	اشکان ذوالریاستین، نسترن ریاحی، مجید رضایی آبادچی، علی مهدیخانی، سارا محسنی
نام و تلفن همراه رابط یا نماینده	دکتر اشکان ذوالریاستین، ۰۹۱۲۲۲۴۹۷۵۲
کاربرد محصول	پوشش دهی سازه های بتنی نظیر پایه های پست و تیرهای سیمانی جهت محافظت محیطی
ویژگی های بارز محصول یا منفعت بدست آمده	تخریب استراکچر های بتنی در برخی پست ها و سازه های انتقال در صنعت برق نسبتا شدید می باشد. این پدیده جدا از مشکلات ناشی از زمان اجرا نظیر (کیفیت پایین عمل آوری و اجرای

بتن) می‌تواند به بارندگی‌های زیاد و اختلاف دما در فصل گرم و سرد سال مربوط گردد. از سوی دیگر عوامل محیطی نظیر رطوبت زیاد، تغییرات دما، گازکربنیک ناشی از آلودگی هوا و یا هوازدگی، وجود یون کلر یا خوردگی میکروبی می‌تواند منجر به تخریب و حتی فاسد لایه‌های زیرین بتن گردد. از آنجایی که علاوه بر آب، سایر عوامل مخرب به صورت یون‌های محلول در آب به داخل بتن نفوذ می‌نمایند، با کمک نانوپوشش‌های محافظ بتن می‌توان با ایجاد خاصیت آبگریزی در سطح بتن از نفوذ آب و رطوبت به آن جلوگیری نمود و طول عمر بتن را افزایش داد.	
(۱) مقاومت از بتن در برابر نفوذ آب و رطوبت و یون‌های مخرب (۲) افزایش طول عمر بتن (۳) پایداری پوشش در برابر عوامل جوی نظیر بارندگی و تابش نور خورشید (۴) اجرای ساده و اسان (۵) هزینه پایین	مشخصات فنی
ساخت نمونه اولیه دارای قابلیت تجاری سازی	ثبت اختراع / مقاله مربوط به محصول
 تصویری از محصول (عکس / نقشه یا تصویر مرتبط)	

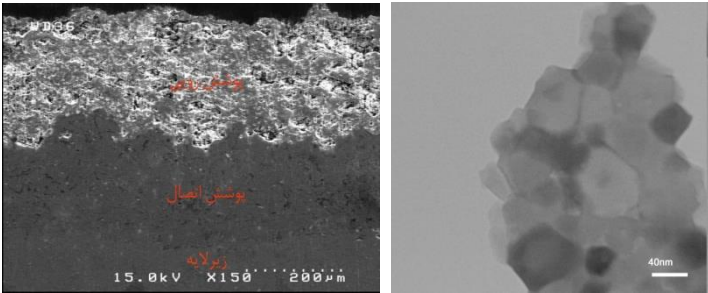
جدول ۱-۱۳- معرفی نانوپوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار

نانوپوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار	عنوان محصول
مرکز توسعه فناوری نانو در صنعت برق و انرژی	واحد ارائه کننده محصول
دستیابی به دانش فنی ساخت نانوپوشش و رنگ ابر آبگریز و ضد گرد و غبار	عنوان پروژه
حسن علم خواه، مصطفی مقداری، اشکان ذوالریاستین، نسترن ریاحی	اسامی سازندگان / تهیه کنندگان
دکتر اشکان ذوالریاستین، ۰۹۱۲۲۴۹۷۵۲	نام و تلفن همراه رابط یا نماینده
پوشش دهی پره‌های توربین بخار و پره‌های کمپرسور توربین گاز تحت فرسایش	کاربرد محصول
افزایش عمرکاری و کارایی توربین بخار یکی از دغدغه‌های اصلی مهندسان طراح می‌باشد. با بهره‌گیری از فناوری نانو و ایجاد پوشش‌های نانوساختار می‌توان به اهداف تعیین شده دست یافت. یکی از قطعاتی که در صنعت نیروگاهی تحت شرایط خوردگی، سایش و فرسایش قرار می‌گیرد، پره توربین بخار می‌باشد که با استفاده از پوشش‌های نانوساختار امکان حفاظت آنها وجود دارد. از ویژگی اصلی پوشش‌ها، چسبندگی عالی، سختی فوق العاده، تراکم بالا و صافی سطح مطلوب است که موجب افزایش عمرکاری توربین و افزایش کارایی و راندمان توربین‌ها خواهد شد. پوشش نانولایه Ti/TiN که در طی این پروژه ساخته شده است، در برابر فرسایش برخورد ذرات جامد بیشترین مقاومت را از خود نشان داد.	ویژگی‌های بارز محصول یا منفعت بدست آمده

مشخصات فنی	- افزایش مقاومت به فرسایش پره توربین بخار در برابر بخارات داغ (رفتگی و کویتاسیون) - تخمین افزایش سه برابری عمر پره توربین بخار در صورت استفاده از پوشش نانو ساختار - امکان حذف جوشکاری استلایت در روش مرسوم (با هدف جلوگیری از فرسایش) - کاهش هزینه ساخت و تعمیر و نگهداری پره توربین بخار
ثبت اختراع / مقاله مربوط به محصول	Comparison of the wear and corrosion behavior between CrN and AlCrN coatings deposited by Arc-PVD method, Mater. Res. Express 6 (2019) 116426. ثبت اختراع در دست اقدام
تصویری از محصول (عکس / نقشه یا تصویر مرتبط)	

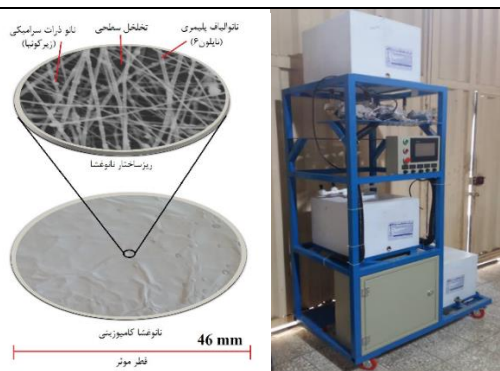
جدول ۱-۱۴ معرفی نانو پودر سد حرارتی YSZ

عنوان محصول	نانو پودر سد حرارتی YSZ																
واحد ارائه کننده محصول	مرکز توسعه فناوری نانو در صنعت برق و انرژی																
عنوان پروژه	دستیابی به دانش فنی ساخت پوشش های سد حرارتی نانوساختار بر پایه YSZ																
اسامی سازندگان / تهیه کنندگان	محمدرضا رحیمی پور، رضا دادفر، اشکان ذوالریاستین، نسترن ریاحی																
نام و تلفن همراه رابط یا نماینده	دکتر اشکان ذوالریاستین، ۰۹۱۲۲۴۹۷۵۲																
کاربرد محصول	پوشش دهی پره های توربین گاز و سایر قطعات داغ توربین																
ویژگی های بارز محصول یا منفعت بدست آمده	پوشش سد حرارتی نانو ساختار پاشش پلاسمایی شده دارای یک ریزساختار دوگانه شامل دانه های میکروستونی شکل یافته از انجماد بخش ذوب شده پودر و ذرات نانو اندازه باقیمانده از پودر (نانو نواحی) می باشد. پوشش YSZ نانوساختار به دلیل حضور نانو نواحی و توانایی کنترل انتشار ترک، استحکام چسبندگی بسیار بالاتری نسبت به پوشش YSZ متداول دارد. ایجاد نانو ساختارها یک روش امیدبخش برای ساخت TBC های جدید است. پوشش های سد حرارتی نانو ساختار دارای استحکام اتصال بالا، هدایت حرارتی پایین و طول عمر بلندتر هستند. TBC های نانو ساختار عملکرد بهتری نسبت به TBC های معمولی دارند.																
مشخصات فنی	<table><tr><th>مقدار</th><th>مشخصه</th><th>مقدار</th><th>مشخصه</th></tr><tr><td>141.66 GPa</td><td>مدول الاستیک</td><td>Bond Coat: 200 ± 50 μn Top coat: 300 ± 50</td><td>ضخامت لایه/لایه ها</td></tr><tr><td>1150-1300 °C</td><td>دمای کاری پوشش</td><td>36 MPa</td><td>چسبندگی</td></tr><tr><td>326 (تعداد سیکل)</td><td>مقاومت به شوک حرارتی</td><td>11.64 GPa</td><td>سختی</td></tr></table>	مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه	141.66 GPa	مدول الاستیک	Bond Coat: 200 ± 50 μn Top coat: 300 ± 50	ضخامت لایه/لایه ها	1150-1300 °C	دمای کاری پوشش	36 MPa	چسبندگی	326 (تعداد سیکل)	مقاومت به شوک حرارتی	11.64 GPa	سختی
مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه														
141.66 GPa	مدول الاستیک	Bond Coat: 200 ± 50 μn Top coat: 300 ± 50	ضخامت لایه/لایه ها														
1150-1300 °C	دمای کاری پوشش	36 MPa	چسبندگی														
326 (تعداد سیکل)	مقاومت به شوک حرارتی	11.64 GPa	سختی														

ثبت اختراع / مقاله مربوط به محصول	-
تصویری از محصول (عکس / نقشه یا تصویر مرتبط)	

جدول ۱-۱۵- معرفی سیستم تصفیه پساب نیروگاهی از فلزات سنگین از طریق غشاهای نانوساختار

عنوان محصول	سیستم تصفیه پساب نیروگاهی از فلزات سنگین از طریق غشاهای نانوساختار																		
واحد ارائه کننده محصول	مرکز توسعه فناوری نانو در صنعت برق و انرژی																		
عنوان پروژه	بررسی غشاهای نانوساختار حاوی نانو ذرات سرامیکی جهت حذف انتخابی آلاینده از پساب های نیروگاهی																		
اسامی سازندگان / تهیه کنندگان	دکتر حمید اصفهانی																		
نام و تلفن همراه رابط یا نماینده	مهندس مهرنوش هور، ۰۹۱۲۱۳۵۳۶۹۶																		
کاربرد محصول	فیلتر پساب های صنعتی و بازگرداندن آن به چرخه استفاده مجدد																		
ویژگی های بارز محصول یا منفعت بدست آمده	متاسفانه نیروگاه های تولید برق به دلیل مصرف زیاد آب و نیز آلودگی های مربوطه یکی از پرجنجال ترین صنایع در زمینه آلوده سازی محیط زیست به شمار می روند. پساب این صنعت حاوی فلزات سنگین مانند آهن، وانادیم، نیکل، مس، سرب و کروم است که در صورت ورود به محیط زیست اثرات زیانباری برای انسان و دیگر موجودات زنده گزارش شده است. علاوه بر این بخش عمده پساب های صنعت نیروگاهی دارای آلودگی هائی هستند که توسط مواد آلی ایجاد شده اند. در این پژوهش با ساخت غشا نانوساختار و استفاده از نانوذرات سرامیکی در ساختار آنها، شرایطی برای جدایش و حذف آلاینده های معدنی (کاتیون فلزات سنگین) ایجاد شده است. استفاده از الیاف پلیمری ارزان قیمت و تجاری سازی شده مانند PA6 به عنوان زمینه اصلی غشا شرایط آب گریزی را فراهم می سازد و با اضافه کردن نانوذرات سرامیکی مانند Al_2O_3, ZrO_2, SiO_2, Fe_3O_4, TiO_2 به الیاف که از یکی از سه ویژگی مغناطیس، بار الکترواستاتیک و یا کاتالیست برخوردار هستند، شرایط برای جدایش آلاینده ها ایجاد می شود.																		
مشخصات فنی	<table><tr><th>مشخصه</th><th>مقدار</th><th>مشخصه</th><th>مقدار</th></tr><tr><td>مدت زمان فرایند</td><td>نیم تا ۱۰ ساعت</td><td>عمر مفید غشا</td><td>حداقل ۱۰۰ بار فرایند تصفیه</td></tr><tr><td>انواع غشا</td><td>ساندویچی و مجزا</td><td>قابلیت حمل دستگاه</td><td>پرتابل</td></tr><tr><td>قطر مجتمع غشا</td><td>۴۶ میلی متر</td><td>وزن تجهیز</td><td>۲۰۰ کیلوگرم بدون پساب</td></tr></table>			مشخصه	مقدار	مشخصه	مقدار	مدت زمان فرایند	نیم تا ۱۰ ساعت	عمر مفید غشا	حداقل ۱۰۰ بار فرایند تصفیه	انواع غشا	ساندویچی و مجزا	قابلیت حمل دستگاه	پرتابل	قطر مجتمع غشا	۴۶ میلی متر	وزن تجهیز	۲۰۰ کیلوگرم بدون پساب
مشخصه	مقدار	مشخصه	مقدار																
مدت زمان فرایند	نیم تا ۱۰ ساعت	عمر مفید غشا	حداقل ۱۰۰ بار فرایند تصفیه																
انواع غشا	ساندویچی و مجزا	قابلیت حمل دستگاه	پرتابل																
قطر مجتمع غشا	۴۶ میلی متر	وزن تجهیز	۲۰۰ کیلوگرم بدون پساب																

انواع غشا در مجتمع غشا	نایلون، نایلون/زیرکونیا، نایلون/آلومینا	ابعاد پکیج	۲۰۰×۸۰×۱۲۰ سانتی-متر
درصد بازدهی	بالای ۹۰٪	ظرفیت پساب	حداکثر ۱۰۰ لیتر
-			
ثبت اختراع / مقاله مربوط به محصول			
تصویری از محصول (عکس / نقشه یا تصویر مرتبط)			
			

جدول ۱- ۱۶- معرفی افزودنی نانو به روغن‌های روانکار نیروگاهی

عنوان محصول	افزودنی نانو به روغن‌های روانکار نیروگاهی
واحد ارائه کننده محصول	مرکز توسعه فناوری نانو در صنعت برق و انرژی
عنوان پروژه	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد افزودنی نانوساختار برای روانکارهای مورد استفاده در نیروگاه‌ها به منظور افزایش راندمان
اسامی سازندگان / تهیه کنندگان	دکتر مهدی قهاری
نام و تلفن همراه رابط یا نماینده	دکتر اشکان ذوالریاستین، ۰۹۱۲۲۲۴۹۷۵۲
کاربرد محصول	روغن‌های روانکار نیروگاهی
ویژگی‌های بارز محصول یا منفعت بدست آمده	اصطکاک در سیستم‌های مکانیکی یکی از عوامل مهم در اتلاف انرژی است. بهره‌گیری از یک روانکار مناسب کمک شایانی در کاهش مصرف انرژی، هزینه‌های نگهداری و تعمیر خواهد کرد. اخیراً استفاده از نانوذرات به دلیل اندازه، شکل و دیگر خواص منحصر به فردشان در روانکار پایه مورد توجه قرار گرفته‌اند. انتظار می‌رود با افزودن نانوذرات مناسب به یک روانکار، کاهش ضریب اصطکاک، کاهش میزان ساییدگی اجزا مکانیکی سیستم، ترمیم سطوح درگیر، بهبود خواص سطحی، افزایش بازده سیستم، کاهش هزینه تعمیر و نگهداری و جلوگیری از اکسیداسیون روغن صورت پذیرد. نانوذرات مختلفی تاکنون مورد بررسی قرار گرفته‌اند که می‌توان به سولفید روی، مس، تیتان، سیلیس، نانوتیوب‌های چند دیواره، اکسید روی و الماس اشاره کرد. اندازه ذرات آنها بین ۱ تا ۵۰ نانومتر اشاره شده است. نانوذرات معمولاً با سه مکانیزم اثر بلبرینگ، فرایند هموار کردن و تشکیل فیلم بر روی خواص تریبولوژی روانکار تاثیر می‌گذارند. هدف از این تحقیق سنتز نانو ذرات مناسب برای سیستم‌های روانکاری است. سنتز ذرات زیر ۲۰ نانومتر و همچنین توزیع اندازه ذرات یکنواخت از چالش‌های بخش سنتز هستند. همچنین در این تحقیق غلظت بهینه و مورفولوژی مناسب نانوذرات نیز بدست خواهد آمد. در مرحله آمایش سطحی نانوذرات نیز نوع عامل گرفت و ضخامت آن نیز از نکات حائز اهمیت به شمار می‌روند.

مشخصات فنی	کاهش ۴۵ درصدی ضریب اصطکاک کاهش ۲۸ درصدی عرض سایش کاهش مصرف سوخت افزایش طول عمر روغن بهبود ضریب انتقال حرارت روغن
ثبت اختراع / مقاله مربوط به محصول	-
تصویری از محصول (عکس / نقشه یا تصویر مرتبط)	

جدول ۱- ۱۷- معرفی افزودنی نانوسیال خنک کننده نیروگاهی

عنوان محصول	افزودنی نانوسیال خنک کننده نیروگاهی										
واحد ارائه کننده محصول	مرکز توسعه فناوری نانو در صنعت برق و انرژی										
عنوان پروژه	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد نانوساختار مورد استفاده در آب برج‌های خنک کن										
اسامی سازندگان / تهیه کنندگان	مرکز توسعه فناوری نانو در صنعت برق و انرژی										
نام و تلفن همراه رابط یا نماینده	دکتر اشکان ذوالریاستین، ۰۹۱۲۲۲۴۹۷۵۲										
کاربرد محصول	نانوسیال خنک کننده نیروگاهی										
ویژگی های بارز محصول یا منفعت بدست آمده	سیالات متداولی که در زمینه انتقال حرارت استفاده می‌شوند ضریب هدایت حرارتی پایینی دارند و استفاده از میکروسیال‌ها، باعث رسوب یا ته‌نشینی ذرات، سائیدگی، مسدود شدن لوله‌ها و افزایش افت فشار در مجرای سیال می‌شود. ذرات نانو به دلیل بالا بودن ضریب هدایتی‌شان با توزیع در سیال پایه باعث افزایش ضریب هدایت حرارتی سیال می‌شوند و اندازه کوچک ذرات و کسر حجمی پایین، مسائلی نظیر کلوخه شدن و افت فشار را حل می‌کند. علاوه بر این سطح نسبی بزرگ ذرات نانو، پایداری ذرات را افزایش داده و مسئله ته نشینی را کاهش می‌دهد. از جمله مزایای استفاده از نانوسیال می‌توان به افزایش انتقال حرارت، کاهش میزان مصرف آب نیروگاه به دلیل اسپری آب بر روی المانهای خنک کاری در فصول پیک بار، کاهش اندازه سیستم های خنک کننده، کاهش مصرف انرژی در پمپ های جریان سیال و همچنین فن های دفع کننده حرارت از المان های خنک کن کمکی اشاره نمود. از دیگر مزایای نانوسیالات وجود خاصیت آنتی باکتریال در برخی از نانوذرات است که باعث از بین بردن میکرو ارگانیسم های هوازی و غیر هوازی و جلوگیری از تشکیل رسوبات بیولوژیک می‌گردد.										
مشخصات فنی	<table><tr><td>مشخصه</td><td>مقدار</td><td>مشخصه</td><td>مقدار</td></tr><tr><td>ترکیب نانوسیال</td><td>آب عملیاتی در مبدل + نانو ذرات</td><td>ویسکوزیته سینماتیکی نانو سیال (۳۰ °C)</td><td>1.7 mm²/s</td></tr></table>			مشخصه	مقدار	مشخصه	مقدار	ترکیب نانوسیال	آب عملیاتی در مبدل + نانو ذرات	ویسکوزیته سینماتیکی نانو سیال (۳۰ °C)	1.7 mm ² /s
مشخصه	مقدار	مشخصه	مقدار								
ترکیب نانوسیال	آب عملیاتی در مبدل + نانو ذرات	ویسکوزیته سینماتیکی نانو سیال (۳۰ °C)	1.7 mm ² /s								

7.3	pH	کروی	مورفولوژی نانو ذرات
0.52 W/mK	ضریب هدایت حرارتی (۳۵°C)	کربنی	ساختار نانو ذرات
1.04 g/cm ³	دانسیته	۱ تا ۱۰ نانومتر	اندازه نانو ذرات
3.97 Kj/kg.°C	ظرفیت حرارتی (C _p) ویژه (۳۰°C)	0.1 wt. %	غلظت در سیال پایه
-55 mV	پتانسیل زتا	-20 up to 100 °C	محدوده دمای کاری
-			
ثبت اختراع / مقاله مربوط به محصول			
تصویری از محصول (عکس / نقشه یا تصویر مرتبط)			

فصل دوم: بررسی چالش‌های فعلی صنعت برق قابل حل با فناوری نانو

۱-۲- چالش‌های موجود در صنعت برق و کاربرد فناوری نانو برای حل آنها

چالش‌های گوناگونی در سه حوزه مختلف صنعت برق نظیر تولید، انتقال، توزیع وجود دارد که می‌توان آن‌ها را به شکل زیر بیان کرد:

۱-۱-۲- تولید

صنعت برق به دلیل نقش زیربنایی و ارتباط تنگاتنگ با عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی، صنعتی پویا و تأثیرگذار است و افزایش کارایی و بهره‌وری در آن از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. بخش تولید برق که همان نیروگاه‌ها هستند، سرمایه‌برترین و مهم‌ترین بخش در صنعت برق می‌باشد.

۱-۱-۱-۲- راندمان نیروگاه‌ها

میانگین بازده نیروگاه‌های گازی براساس نوع و مدت زمان بهره‌برداری از ۳۳ درصد تا ۳۸ درصد متغیر است که در صورت تبدیل آنها به سیکل ترکیبی می‌توان راندمان این واحدها را به نزدیک ۵۰ درصد رساند. در صورتی که بتوان همه راهکارهای موجود را برای افزایش بازده نیروگاه‌ها بکار گرفت، راندمان این تأسیسات به بیش از ۴۵ درصد نیز قابل افزایش است. نیروگاه‌هایی که از ترکیب چند سوخت برای تولید برق استفاده می‌کنند، از راندمان بالاتری نسبت به سایر نیروگاه‌های متکی به یک نوع سوخت برخوردارند. علاوه بر این، نیروگاه‌هایی که از گاز طبیعی بیشتری استفاده می‌کنند، از راندمان بالاتری برخوردار هستند.

در حوزه تولید مهم‌ترین چالش شناسایی شده پایین بودن راندمان تولید برق در نیروگاه‌ها می‌باشد. برای رفع این معضل می‌توان از روان‌کارها، افزودنی‌های سوخت و خنک‌کننده‌های سیال استفاده کرد. کی‌یونگ (۲۰۱۱) در مقاله‌ای به استفاده از سیستم خنک‌کننده فاگ برای توربین‌های گازی اشاره کرده است به این صورت که برای افزایش توان خروجی از توربین‌های گاز و بهبود کارایی توربین‌های گاز در فصل‌های گرم سال از سیستم خنک‌کننده هوا استفاده می‌شود که اثرات قابل توجهی بر کارایی توربین‌های گازی دارد.

سوزان فرگوسن (۲۰۱۰) در مقاله‌ای به بررسی راه‌های بهبود کارایی در نیروگاه‌ها با استفاده از جذب کربن پرداخته است. برای این کار لازم است که تقاضای انرژی کاهش یابد، چه از لحاظ حرارتی و چه از نظر الکتریکی. در کل می‌بایست در انجام تغییرات و بهبود کارایی، سیستم و طراحی نیروگاه را مورد توجه قرار داد.

فرانس ون آرت (۲۰۱۰) در مقاله‌ای به بررسی عوامل مؤثر بر راندمان انرژی در نیروگاه‌های مختلف پرداخته است و میزان راندمان نیروگاه‌ها را به عوامل مختلفی نسبت داده است، از جمله نوع تولید نیروگاه، طراحی نیروگاه، شرایط خود نیروگاه و شرایط محیطی.

هیونگ جونگ (۲۰۱۲) در مقاله‌ای به بررسی عامل مؤثر بر افزایش قدرت خروجی و بهبود کارایی توربین گاز براساس کاهش دما و خنک کردن هوای ورودی در دوره‌های گرمای هوا پرداخته است. مارگاریتا جینیوس (۲۰۱۲) در مقاله‌ای به اندازه‌گیری رشد بهره‌وری در نیروگاه‌های بخار تولید برق پرداخته است و برای این منظور از یک چارچوب نظری

برای تجزیه و تحلیل عامل بهره‌وری جزئی و اندازه‌گیری فنی ناکارآمدی استفاده نموده است. امامی میبیدی (۱۳۹۱) در مقاله‌ای بیان کرده است که برای تولید برق می‌توان تکنولوژی‌های مختلفی را مورد استفاده قرار داد. انتخاب ترکیب مناسب تکنولوژی برای تولید برق تأثیر مستقیمی بر میزان سوخت مصرفی دارد. از میان مولدهای مختلف، انواع چرخه ترکیبی و گازی ساده، بیش از نیمی از انرژی برق کشور را تولید می‌کنند. مزیت اصلی مولدهای چرخه ترکیبی در مقایسه با مولدهای گازی ساده، راندمان بالاتر یا مصرف سوخت کمتر است. این مطالعه به مقایسه دو مولد فوق پرداخته و یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد در سطح قیمت‌های یارانه‌ای سوخت، تبدیل نیروگاه گازی به چرخه ترکیبی و یا احداث مولدهای تجدیدپذیر برای تولید فاقد توجیه اقتصادی است. حسینی‌پور (۱۳۸۸) در مقاله بررسی اقتصادی بازتوانی نیروگاه بخار در مقایسه با احداث نیروگاه گازی، به بررسی نقش پارامترهای تأثیرگذار در تعیین خصوصیات سیستم تبدیل انرژی بازتوانی به عنوان روشی تجربه‌شده و تعمیم‌پذیر که می‌تواند راهکار مؤثری برای احیاء شبکه نیروگاه‌های بخار کشور باشد، پرداخته است. با توجه به حجم قابل توجه سرمایه‌گذاری آتی صنعت برق کشور برای ساخت نیروگاه‌های گازی، هزینه برق تولیدی این نوع از نیروگاه‌ها را با روشهای بازتوانی مقایسه نموده است. الهامی امیری (۱۳۸۴) در مقاله‌ای به بررسی راندمان نیروگاه‌های سیکل ترکیبی پرداخته و اثر گرمایش مجدد هوای خروجی از توربین‌های گازی را بر آن بررسی نمود. نتیجه این مشاهدات این بود که تأثیر دمای محیط روی دمای خروجی توربین گازی و نیز تأثیر استفاده از سیستم فاگ در شرایط مختلف آب و هوایی متفاوت است و برخی عوامل مانند کاهش دمای هوای محیط در طول سال و نیز استفاده از سیستم های خنک‌کن در هوای ورودی به توربین‌های گازی، باعث تقلیل دمای گازهای خروجی از توربین گازی می‌گردند. علاوه بر این مسئله، عدم کارکرد توربین‌های گازی در بار پایه نیز در کاهش دمای گازهای خروجی از آنها نقش بسزایی دارند. امامی میبیدی (۱۳۸۸) در مقاله اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در نیروگاه‌های بخاری و گازی و سیکل ترکیبی، به بررسی کارایی فنی نیروگاه‌ها در سال ۱۳۸۶ و بهره‌وری نیروگاه‌ها از سال ۸۶-۱۳۸۱ برای ۲۶ نیروگاه حرارتی پرداخته است. نتایج نشان داد که ناکارایی مقیاس بیشترین تأثیر را روی ناکارایی فنی دارد. رشد بهره‌وری تمام نیروگاه‌های مورد نظر طی سال‌های مورد بررسی به طور متوسط معادل ۱/۵ درصد بوده است و تأثیرگذارترین عامل در تغییرات بهره‌وری، تغییرات تکنولوژیکی معرفی شده است. بهادری‌نژاد (۱۳۸۰) در مقاله‌ای به تأثیر سرد کردن هوای ورودی به کمپرسور با ذخیره‌سازی فصلی آب سرد در لایه‌های آبدار زیرزمینی در افزایش توان و بازده نیروگاه‌های گازی پرداخته است. از این طریق که در روزهای سرد سال، آب موجود در لایه آبدار زیرزمینی به بالا پمپ شده و با استفاده از آن هوای محیط خنک می‌گردد و دوباره به زیر زمین تزریق می‌شود. در این روش با وجود هزینه پایین نصب و نگهداری آن، از کارایی بالایی نیز برخوردار است. بهدشتی (۱۳۸۳) افزایش ظرفیت واحدهای گازی نیروگاه زاهدان را به وسیله سیستم خنک‌کننده فاگ مورد بررسی قرار داده است. در این سیستم علاوه بر افزایش قدرت خروجی توربین، مزایای دیگری از قبیل کاهش مصرف سوخت و افزایش بازده و کاهش آلاینده‌های موجود در اگزوز نیز دارد.

۲-۱-۱-۲- تعمیمات و نگهداری

یکی دیگر از چالش‌های شناسایی‌شده، هزینه های گزافی است که هر ساله برای تعمیرات و نگهداری تجهیزات نیروگاهی بر دوش صنعت برق تحمیل می‌شود. از طرف دیگر به دلیل تغییرات شدید نرخ ارز هزینه‌های تأمین قطعات، و ... افزایش یافته است. در شرایطی که هزینه‌های سرمایه‌گذاری در صنعت برق افزایش یافته و هزینه‌های نگهداری آن هم تغییر کرده است، قیمت تمام شده برق نیز افزایش می‌یابد. برای کاهش هزینه‌های ناشی از تعمیرات و نگهداری استفاده از روغن‌های روان‌کار برای کاهش سایش و نیز استفاده از پوشش‌های مقاوم به فرسایش (به عنوان مثال در

پره توربین‌ها) پیشنهاد شده‌است. براساس تعریف استاندارد DIN، نگهداری و تعمیرات عبارت است از: تمامی فعالیت‌های انجام شده در جهت حفاظت یا اعاده وضع یک جزء و یا کل سیستم موجود، به طوری که نگهداری و تعمیرات صحیح، افزایش ارزشهای زیر را در برداشته باشد:

۱. افزایش کارایی و بهره‌وری
۲. افزایش ایمنی کار و محصول
۳. افزایش طول عمر دستگاهها و تجهیزات و جلوگیری از فرسودگی آنها
۴. کاهش ساعات توقف کار
۵. کاهش هزینه‌های بهره‌برداری
۶. کاهش مصرف قطعات یدکی
۷. پیش‌بینی میزان و زمان مصرف قطعات
۸. بازسازی مصرف مجدد قطعات
۹. تأمین کیفیت مناسب کار یا محصول تولیدی

هدف تعمیرات عبارت است از: طولانی کردن عمر کارخانه با حداقل هزینه و بیشترین بهره‌وری (طول عمر از زمان نصب ماشین‌آلات در طول زمان تولید تعریف می‌شود.) جهت دستیابی به هدف ذکر شده سه وظیفه عمده به شرح زیر بر عهده تعمیرات قرار می‌گیرد:

۱. تنظیم و بهینه‌سازی
۲. جلوگیری از استهلاک
۳. موقع بازسازی و جایگزینی

۳-۱-۱-۲- محیط زیست

با توجه به وضعیت محیط زیست جهان و اثرات قابل توجه انرژی بر آن، گرایش عمومی به سوی بکارگیری روش‌های با کارایی بالا و مصرف سوخت کمتر است؛ هر چند مسائل اقتصادی به ویژه در کشورهای در حال توسعه، هنوز مهم‌ترین عامل در انتخاب روش تولید به شمار می‌آید. بسط و توسعه نیروگاه‌های چرخه ترکیبی، مولدهای همزمان تولید برق و حرارت، سامانه‌های تولید پراکنده، منابع انرژی تجدیدپذیر، استفاده از سامانه‌های هوشمند پایش و کنترل و نیز تجهیزات با کارایی بالا و تلفات کم در بخش انتقال و توزیع برق نشانه‌هایی از این رویکرد جهانی در امر حذف، تثبیت یا کاهش میزان آلودگی می‌باشد و این مهم مورد توجه خاص مسئولین صنعت برق می‌باشد.

سیاست‌های محیط زیستی در بسیاری از کشورها در جهت اجرای قوانین و آیین‌نامه‌های ملی، برای دستیابی به اهداف سه گانه که عبارتند از: عدم بروز حوادث و تصادفات، آسیب نرسیدن به افراد و آسیب نرسیدن به محیط، پی ریزی شده است. جهت توسعه پایدار به کمک روند مدیریت محیط زیست، اهدافی مانند کاهش آلودگی جو (و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای)؛ حذف هرگونه نشت مواد شیمیایی و زایدات خطرناک، بهره‌وری انرژی، کاهش مواد زاید جامد و مایع، آموزش و آگاه‌سازی و اطلاع رسانی عمومی، نگهداری و احیای منابع طبیعی و کمینه کردن اثرات مخرب محیط زیستی در نظر گرفته می‌شود.

اثرات محیط زیستی فناوری‌های مختلف تولید برق علاوه بر این که به تأسیسات، تجهیزات، نوع سوخت و چگونگی بهره‌برداری و میزان تولید بستگی دارد، به موقعیت استقرار آن نیز بسیار وابسته است. نیروگاه‌های حرارتی که در تولید برق سهمی عمده دارند با آلودگی هوا، آب و خاک، صوتی و لرزشی، بویایی، تخریب منظر و در برخی موارد آلودگی

نوری بر محیط زیست انسانی و طبیعی و شرایط کارکرد تجهیزات اثر می‌گذارند. عموماً اثرات محیط زیستی با توجه به مراحل مختلف ساخت و بهره‌برداری متفاوت است. این اثرات در دو بخش طبقه‌بندی می‌شود: اثرات مستقیم و اثرات غیر مستقیم. اما ارائه وضعیت این اثرات تنها زمانی به طور کامل میسر خواهد بود که بیانیه‌ها و نیز برنامه‌های پایش محیط زیستی در تمامی نیروگاه‌ها تهیه و به انجام برسند.

مشکلات محیط زیستی ناشی از احداث نیروگاه برقایی و اثر آن بر محیط فیزیکی، زیست بوم و محیط اجتماعی، بر اساس حجم و ابعاد سد تغییر می‌کند. تخریب موضعی زیست گاه‌های طبیعی بر اثر نیاز به احداث جاده‌های دسترسی، خطوط انتقال و ساخت سازه‌ی سد، نمونه‌ای از مشکلات محیط زیستی ناشی از احداث سد و یا نیروگاه‌های آبی است. نیروگاه‌های آبی حتی ممکن است باعث جابه‌جایی جوامع انسانی شوند که به اثرات محیط زیستی ثانویه‌ی ناشی از ساخت و بهره‌برداری این نیروگاه‌ها می‌انجامد. در عین حال تأمین برق از این نیروگاه‌ها باعث کاهش انتشار بسیاری از گازها و نیز نشت مواد شیمیایی و خطرناک به محیط می‌شود.

تغییرات منطقه‌ای در الگوهای دما و بارش می‌تواند تبعات قابل ملاحظه‌ای بر سامانه‌های زیر ساختی و اساسی نیروگاه‌های حرارتی و عملکرد فعلی و آتی آن‌ها بر جای گذارد. آب و هوا و اقلیم می‌توانند بر تمامی جنبه‌ها و فعالیت‌های اساسی بخش برق شامل تولید، انتقال و توزیع و تقاضای مصرف کنندگان نهایی تأثیر بگذارند.

در نیروگاه‌های حرارتی، کارایی تولید برق با افزایش دمای محیط، تقلیل می‌یابد. نیروگاه‌های برقایی نیز از تغییر اقلیم متأثر می‌شوند. عواملی از قبیل بارش، سطوح قلل برفی و زمان ذوب برف بر جریان آب رودخانه‌ها و رواناب‌ها و نیز سطوح ذخیره آب اثر می‌گذارند.

سایر فناوری‌های استفاده از منابع تجدید پذیر نیز تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار دارند. برای مثال فناوری خورشیدی تحت تأثیر پوشش ابر و پوشیدگی تابش خورشید قرار می‌گیرد. تغییر در الگوهای باد در آینده اثرات چشمگیری بر تولید برق از انرژی باد خواهد گذارد. در توزیع برق، انبساط حرارتی کابل‌ها و خطوط انتقال و توزیع برق سبب خم شدگی و شکم دادن این خطوط شده و مقدار برقی که با پایداری می‌تواند از طریق این خطوط منتقل شود را کاهش می‌دهد. انبساط حرارتی خطوط برق در اثر دمای بیشتر محیط، افزایش می‌یابد. در زمان‌های حداکثر بار، کاهش قابلیت و ظرفیت خطوط انتقال، سبب ازدیاد و تجمیع مشکلات می‌شود. این امر سبب می‌گردد استفاده از ادوات و منابع گران‌تر تولید برق، افزایش یافته و در عین حال سبب کاهش سطوح تولید برق در واحدهایی می‌شود که از ادوات ارزان‌تر با کارایی کمتر استفاده می‌کنند.

ایجاد پدیده کرونا در اثر تغییر عوامل محیطی مانند رطوبت بر عمر و کارکرد ترانسفورماتورهای انتقال و توزیع اثر قابل ملاحظه‌ای دارد. در بخش تقاضای برق، دماهای بالاتر در ماه‌های تابستان در مناطق گرمسیر منجر به افزایش تقاضای برق جهت استفاده از دستگاه‌های تهویه هوا و نیز وسایل سرد کننده مانند یخچال می‌شود. از سوی دیگر دمای بیشتر هوا در فصل زمستان در مناطق سردسیر سبب کاهش تقاضای برق می‌شود؛ زیرا وسایل گرمایشی کمتری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در نیروگاه‌های حرارتی، مکش آب رودخانه و تخلیه آب واحد خنک کننده به رودخانه با توجه به مقادیر آستانه‌ای (حدی) تنظیم می‌شود. این مقدار آستانه‌ای با افزایش دمای هوا و نیز تناوب‌های گرما و خشکسالی می‌تواند در اثر تغییر اقلیم بالا رود. افزایش دما در اثر گرمایش جهانی باعث افزایش تقاضای بار پیک برق خواهد شد. در نتیجه گرمایش جهانی پیش‌بینی می‌شود کاهش در عرضه آب به واسطه تقلیل میزان بارش و یا دسترسی به آب حاصل از ذوب برف‌ها قابل ملاحظه باشد. در نتیجه رقابت چشمگیری برای دستیابی به آب در میان بخش‌های مختلف من جمله بخش تولید برق به وجود می‌آید.

کمبود آب در برخی از مناطق، سبب محدودیت در تولید برق نیروگاه‌ها می‌شود. این عامل با افزایش جمعیت، تقاضای بیشتر برای آب جهت مصارف مختلف (حداقل به صورت فصلی) افزایش می‌یابد. علاوه بر مشکل در دسترس بودن آب، مشکلاتی در اثر افزایش دمای آب به وجود می‌آید. استفاده از آب گرم تر، کارایی سامانه‌های خنک کننده را در نیروگاه‌ها کاهش می‌دهد و تخلیه آب گرم تر به پهنه‌های آبی سبب به مخاطره افتادن ترکیب گونه‌های آبرزی در این پهنه‌ها می‌شود.

راندمان نیروگاه‌های حرارتی (فسیلی یا هسته‌ای) به دمای محیط و درجه حرارت آب، حساس است. هرچند این اثر از لحاظ مقدار یا درصد آن بسیار زیاد نیست اما حتی تغییرات کوچک در این خصوص می‌تواند مخاطرات قابل ملاحظه‌ای را در سطح ملی برای کل عرضه برق ایجاد نماید. برخی مطالعات بیان می‌دارد به ازای افزایش ۳ درجه سانتیگراد دمای محیط، راندمان نیروگاه‌های گازی ۱٪ کاهش می‌یابد. اثرات تغییر اقلیم بر شبکه به ویژه اختلالات شبکه در اثر تغییرات آب و هوایی، به عنوان چالش‌هایی برای برنامه‌ریزی استراتژیک و مدیریت خطر پذیری (ریسک) محسوب می‌شوند.

در مورد نیروگاه‌های برقی، بارش بیشتر به صورت باران و نه برف (کاهش قله برفی)، پیک زود هنگام رواناب‌ها و اثرات ناشی از آن‌ها، قابلیت دسترسی انرژی برقی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس مطالعات مشخص شده است در پاره‌ای از شرایط، کاهش ۱٪ بارش باعث کاهش ۲ تا ۳٪ در جریان رواناب شده و هر ۱٪ کاهش این جریان سبب ۳٪ کاهش در تولید برق می‌شود.

۲-۱-۲- توزیع و انتقال

۲-۱-۲-۱- تلفات در خطوط توزیع و انتقال

خطوط انتقال مجموعه‌ای متشکل از خطوط هوایی و زمینی فشار متوسط و فشار ضعیف و پست‌های زمینی و هوایی است که برای توزیع انرژی برق در یک محدوده معین به کار گرفته می‌شود. یکی از چالش‌های مهم صنعت برق کشور، در بخش توزیع و انتقال قرار دارد. چراکه شبکه توزیع و انتقال برق ایران، سهم قابل توجهی در هدررفت برق تولیدی کشور داراست. انرژی تولیدشده در نیروگاه‌ها و دیگر منابع تولید انرژی الکتریسیته، از طریق واسطه‌هایی به دست مصرف‌کننده نهایی می‌رسد. در حقیقت محل احداث نیروگاه‌ها به گونه‌ای است که غالباً نمی‌تواند در مجاورت مرکز مصرف برق باشد (از لحاظ ملاحظات چون منابع سوخت، آب و جلوگیری از آلودگی‌های محیط زیستی). این واسطه که فرآیند مهمی در انتقال برق به مصرف‌کننده نهایی به حساب می‌آید، خطوط انتقال و توزیع است. به زبان ساده‌تر، انرژی تولیدی در نیروگاه‌ها از طریق خطوط انتقال و فوق توزیع به مبادی شبکه‌های توزیع منتقل شده و در نهایت از طریق شبکه‌های توزیع به مصرف‌کننده نهایی تحویل داده می‌شود. پاسخگویی به نیاز مصرف رو به افزایش مشتریان، مستلزم افزایش ظرفیت خطوط و پست‌های انتقال و فوق توزیع است.

بر اساس گزارش تفصیلی صنعت برق که توسط شرکت توانیر منتشر شده است، سطوح متداول ولتاژ انتقال و فوق توزیع در سیستم به هم پیوسته برق کشور، عبارتند از ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت برای خطوط و پست‌های انتقال و ۱۳۲، ۶۶ و ۶۳ کیلوولت برای خطوط و پست‌های فوق توزیع. در حال حاضر شبکه به هم پیوسته برق ایران با کشورهای همجوار ترکیه، ارمنستان، پاکستان، افغانستان، آذربایجان، ترکمنستان، عراق و نخجوان نیز مبادله انرژی می‌کند. در ادبیات

صنعت برق، یک «شبکه» در انتقال برق عبارت است از یکسری پست‌ها، خطوط، کابل‌ها و سایر تجهیزات الکتریکی که به منظور انتقال انرژی از نیروگاه‌ها به مصرف‌کننده نهایی متصل شده‌اند. شبکه به هم پیوسته نیز شبکه‌ای است که می‌تواند به صورت ملی یا فراملی در وظیفه اصلی خود قابل تنظیم باشد به طوری که هم از نظر اقتصادی و هم از نظر کارایی بتواند درخواست‌های انرژی برق را با تولید آن به سطح بهینه برساند.

در این میان پست‌های انتقال و توزیع نیز نقش مهمی ایفا می‌کنند. پست برق تاسیساتی است که در مسیر تولید، انتقال یا توزیع انرژی الکتریکی، ولتاژ را به وسیله ترانسفورماتور به مقادیر بالاتر یا پایین‌تر تغییر می‌دهد. در واقع انرژی الکتریکی از مسیر نیروگاه تا مصرف‌کننده نهایی ممکن است از میان تعداد زیادی پست عبور کند و ولتاژ چندین بار در طول مسیر تغییر کند. از نظر جغرافیایی پست‌ها می‌توانند سه نوع باشند؛ پست کمپکت فشرده به پستی گفته می‌شود که عایق استفاده‌شده در آن گاز 6SF است. ویژگی این پست آن است که تمام اجزای پست با فضای آزاد ارتباطی ندارد و به همین دلیل فضای کمی را اشغال می‌کند و سرپوشیده است. نوع دوم پست متعارف است که کلیه تجهیزات اصلی در فضای باز قرار می‌گیرند و با توجه به شرایط آب و هوایی سطح اشغال‌شده توسط آن در مقایسه با پست فشرده بزرگ‌تر است. نوع سوم پست سیار است که در مواقع اضطراری و به طور موقت با نصب یک ترانسفورماتور سیار در محدوده خطوط انتقال به صورت T-off یا ورود و خروج برق بخشی از مصرف‌کنندگان تامین می‌شود.

بر اساس آمار اعلامی شرکت توانیر، کل تولید برق کشور در سال ۱۳۹۶ حدود ۳۰۸ میلیارد کیلووات ساعت و کل فروش داخلی آن ۲۵۵ میلیارد کیلووات ساعت محاسبه شده است. بخشی از اختلاف ۵۰ میلیارد کیلووات ساعتی به صادرات و مصرف خود نیروگاه‌ها می‌تواند منسوب باشد، اما مطمئناً عمده این اختلاف به دلیل اتلاف انرژی در شبکه توزیع و انتقال است. بنا به گفته مسوولان عالی‌رتبه وزارت نیرو، در سال‌های اخیر حتی تا ۲۰ درصد برق تولیدی کشور در جریان انتقال و توزیع، تلف شده است. بر اساس یک گزارش که توسط مرکز پژوهش‌های مجلس منتشر شده بود، در سال ۱۳۵۷ تنها ۸/۱۳ درصد اتلاف در شبکه توزیع و انتقال وجود داشته است که این رقم در سال ۱۳۸۶ به بیش از ۵/۲۳ می‌رسد. این رقم بهایی است که در نهایت از جیب مردم خارج و به بیانی دور ریخته می‌شود. برخی آمارها نشان می‌دهند که میزان تلفات در کره جنوبی ۷/۵ درصد و در تایلند ۱۱ درصد بوده است. اما در ایران میزان تلفات دست کم سه تا چهار برابر نرم جهانی است. البته در برخی از نقاط کشور چون خوزستان میزان تلفات بسیار بیشتر و حتی تا بیش از ۳۰ درصد نیز گزارش شده است. مرکز پژوهش‌های مجلس گزارش داد که تولید هر یک مگاوات برق، یک میلیون دلار سرمایه نیاز دارد. در واقع کاهش یک درصد تلفات برق تولیدی کشور صرفه‌جویی ارزنده‌ای را برای کشور رقم می‌زند و به مراتب هزینه کاهش تلفات از هزینه سرمایه‌گذاری کمتر است.

در کشورهای پیشرفته و توسعه‌یافته تلفات شبکه‌های انتقال و توزیع در دهه‌های گذشته به طور برنامه‌ریزی شده‌ای در حال کاهش بوده و بنابراین می‌توان دریافت که برای اکثر کشورها پتانسیل بسیار زیادی برای کاهش تلفات شبکه موجود است. این شرایط به ویژه در لحظات پیک بار شبکه از اهمیت بیشتری برخوردار است، چراکه در این لحظات تلفات سیستم انتقال و توزیع در بالاترین حد خود قرار داشته و پیک شبکه جهت تامین نیاز مصرف اهمیت دوچندانی به موضوع می‌دهد. تلف شدن مقادیر فراوان انرژی الکتریکی در سیستم‌های انتقال و توزیع ما را ناچار به توسعه روزافزون اما غیرمنطقی شبکه برق می‌کند که در واقع این امر، ضمن افزایش میزان تلفات و پیری و زوال تجهیزات شبکه، منجر به تولید مقادیر فراوان آلاینده‌های زیست‌محیطی و معایب حاصل از آن می‌شود. گزارش‌های کارشناسی نشان می‌دهد که در سال‌های گذشته نوعی «تعجیل» در انتقال برق به سراسر کشور دیده می‌شود. به این معنی که برق‌رسانی به خصوص به مناطق و روستاهایی که جمعیت کمی دارند، انجام شده در حالی که شبکه توزیع برای آنها صرفه و توجیه اقتصادی نداشته چراکه طولانی شدن شبکه توزیع زمینه استفاده‌های غیرقانونی را فراهم می‌کند.

کارشناسان می‌گویند، خطوط طولانی برق علاوه بر اینکه افت فشار را به دنبال خواهند داشت، موجب افزایش انشعابات غیرمجاز نیز می‌شود در نتیجه هرچه مراکز تولید از مصرف دور باشد موجب افت فشار می‌شود. کم‌اینکه بخش تولید و توزیع برق ایران با اختلاف ارتفاعی که از سطح دریا دارد همواره دستخوش کاهش راندمان و اتلاف انرژی بیشتری خواهد بود. بنابراین توصیه کارشناسان کوتاه کردن خطوط انتقال و پست‌های فشار قوی است که می‌تواند در کاهش تلفات برق موثر باشد.

این یک واقعیت است که شبکه توزیع و فوق توزیع کشور در دهه ۵۰ شمسی طراحی شده و تغییر الگوی مصرف و افزایش جمعیت در این ۴۵ سال از عواملی است که موجب شده شبکه توزیع پاسخگوی نیاز کنونی نباشد. این فرسودگی، عامل مهمی در اتلاف برق تولیدی در شبکه توزیع به شمار می‌رود. ضمن اینکه تغییر الگوی مصرف و استفاده از لوازم برقی متعدد و تغییر منازل از ویلایی به آپارتمان، برق‌رسانی به چنین شبکه توزیع بزرگی را با مشکل مواجه کرده و از همین‌رو لازم است که ساختار و ظرفیت انتقال برق در ایران مورد بازنگری قرار گیرد. شاخص‌های توسعه‌ای از عوامل دیگری است که می‌تواند شبکه توزیع را با چالش مواجه کند. کارشناسان معتقدند شاخص‌های توسعه‌ای موجب تفاوت در الگوی مصرف است، به گونه‌ای که مثلاً چگالی مصرف در مناطق ۱ و ۲ و ۳ تهران (مناطق توسعه‌یافته) معادل شهرهای پیشرفته‌ای چون لندن و کشورهای توسعه‌یافته است.

عامل دیگری که می‌تواند بهره‌وری سیستم را افزایش دهد، بهبود وضعیت خازن‌ها و ترانس‌ها در شبکه توزیع است که البته این موضوع نیز نیازمند استفاده از فناوری روز جهان است. در واقع جایگزینی شبکه فشار متوسط به جای فشار ضعیف موجب می‌شود که برق ورودی به مبادی مصرف منطبق بر تغییر الگوی مصرف باشد؛ اما در شبکه توزیع مهم‌ترین عامل هدررفت برق مربوط به انشعابات غیرمجاز است که این موضوع نیز ناشی از طولانی بودن خطوط برق کشور است.

البته راهکار تولید پراکنده هم در دستور کار وزارت نیرو قرار دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بخش اصلی تلفات شبکه برق کشور مربوط به بخش توزیع است. یکی از راهکارهای کاهش تلفات توزیع برق در کشور، استفاده از واحدهای تولید پراکنده برق است که می‌تواند به صورت ایجاد مزرعه‌های خورشیدی یا نیروگاه‌های کوچک باشد. این راهکار برای روستاها و مناطقی تعریف شده که از جمعیت کمی برخوردار بوده و قرار گرفتن آنها تحت شبکه توزیع سراسری به دلیل طولانی بودن خطوط انتقال توجیه اقتصادی ندارد.

۲-۱-۲-۲- سوانح و حوادث

وقوع بحران و حادثه در صنعت برق از ویژگی خاصی برخوردار بوده و کشور ما به لحاظ شرایط جغرافیایی در معرض حوادث طبیعی زیاد و مهلکی از جمله سیل، طوفان و زلزله قرار دارد. از آنجایی که بهره‌برداری و نیاز مبرم به انرژی در هر لحظه خصوصاً در شرایط فوق‌العاده اهمیت فراوان داشته و نیز حجم سرمایه‌گذاری بالای انجام شده توجه خاصی را به رفتار و عملکرد شبکه‌های تولید و مدیریت بهره‌برداری تحت شرایط بحران می‌طلبد. از اینرو بررسی نتایج و حالات مختلف بروز بحران در شبکه‌های برق به همراه مدیریت بحران یکی از نقاط مهم بهره‌برداری و نظارت بر شبکه‌های برق است. لذا مدیریت بحران صنعت برق بایستی بتواند در کوتاهترین زمان ممکن اقدام به رفع خسارات وارده به تجهیزات نموده و سیستم را مجدداً به حالت اولیه بازگرداند.

۲-۲- وضعیت فعلی پروژه های نانو فناوری برای حل چالش های صنعت برق

با شناسایی چالش‌های موجود در صنعت برق کشور در سه حوزه تولید، انتقال و توزیع، پروژه‌های مختلفی با محوریت استفاده از فناوری نانو برای حل مشکلات در این حوزه‌ها تعریف شده‌اند. این پروژه‌ها در ابتدای امر در مقیاس آزمایشگاهی بررسی شده و بعد از تایید نتایج در این مرحله، آزمون‌های پایلوت انجام می‌شوند. با تایید نتایج پایلوت طبق استانداردهای مربوطه، تولید نیمه صنعتی محصولات حاصل از پروژه‌های بررسی شده، در دستور کار قرار می‌گیرد. از جمله کاربردهای مهم فناوری نانو در نیروگاه‌های حرارتی را می‌توان در سه حوزه نانو پوشش‌ها، نانو افزودنی‌ها و قطعات و اجزای نانوساختار دسته بندی نمود که در ادامه به آن‌ها اشاره شده‌است. از میان این سه حوزه‌ی استفاده از فناوری نانو در صنعت برق، اغلب نانو پوشش‌ها به مرحله اجرا در مقیاس نیمه صنعتی رسیده‌اند و استفاده از آن‌ها برای حل برخی چالش‌های موجود رایج است. به کار گیری نانو افزودنی‌ها در صنعت برق و نیروگاه‌ها در مقایسه با سایر روش‌های استفاده از فناوری نانو از سهولت بیشتری برخوردار است و نتایج بهتر و سریع تری به دست می‌دهد. در حالی که استفاده از قطعات نانو ساختار در صنعت برق مشکلات زیادی به همراه دارد و از سایر روش‌ها دشوارتر است.

۱-۲-۲- نانو پوشش‌ها

موارد زیر به عنوان کاربرد های نانو پوشش‌ها در نیروگاه های حرارتی قابلیت بکارگیری و صنعتی شدن دارند:

۱. نانو پوشش‌های سد حرارتی پره توربین، نازل و محفظه احتراق توربین گازی
۲. نانو پوشش‌های مقاوم به سایش و فرسایش پره کمپرسور توربین گاز و پره توربین بخار و پمپ‌ها
۳. پوشش‌های نانوساختار برای جلوگیری از خوردگی لوله‌های بویلر
۴. نانو پوشش‌های با انتقال حرارت بالا و ابرآبریز برای افزایش راندمان سیستم کندانسور
۵. نانو پوشش‌های عایقی

۲-۲-۲- نانو افزودنی‌ها

از جمله نانو افزودنی‌های مختلف در نیروگاه های حرارتی می‌توان به سه مورد زیر اشاره نمود:

۱. نانو سیالات مبدل حرارتی
۲. نانو روغن‌ها
۳. نانو افزودنی‌های سوخت نیروگاه

۳-۲-۲- بکارگیری قطعات و اجزای نانوساختار

موارد زیر را به عنوان قطعات و اجزای نانوساختار در نیروگاه های حرارتی میتوان بکار گرفت:

۱. مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در هسته ژنراتورها و ترانسفورماتورها
۲. جایگزینی آلیاژهای متداول با نانوکامپوزیت‌ها و آلیاژهای نانوکریستال
۳. مولد های ترموالکتریک نانوساختار
۴. فیلترهای نانوساختار تصفیه آب و پساب
۵. نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی
۶. کاتالیست‌های نانوساختار مورد استفاده در محفظه احتراق توربین‌های گازی

۷. سنسورهای نیروگاهی با استفاده از مواد نانوساختار
۸. کنترل و کاهش گازهای آلاینده سیستم دودکش خروجی نیروگاه با فناوری نانو

در جدول ۱-۲ اطلاعات مربوط به پروژه‌های فناوری نانو در راستای حل چالش‌های شناسایی شده در صنعت برق کشور آورده شده است. مطابق این جدول اکثریت پروژه‌ها با موفقیت به مرحله‌ی تولید نیمه صنعتی رسیده‌اند و دیگر نیازی به انجام پایلوت ندارند. برخی پروژه‌ها نظیر فیلترهای نانوساختار تصفیه آب و پساب، در حال رایزنی برای انجام پایلوت در نیروگاه مفتاح همدان هستند. اما دو محصول نانو افزودنی‌های روانکار و نانو سیال خنک‌کننده نیروگاهی تنها تا مقیاس آزمایشگاهی مورد تایید قرار گرفته‌اند و نیاز به انجام پایلوت و تایید در مقیاس نیمه صنعتی دارند. اعمال این دو محصول در صنعت برق، با توجه به اینکه به عنوان نانو افزودنی تولید می‌شوند، از سهولت بیشتری برخوردار است و نتایج بهتری به دست می‌دهند.

جدول ۱-۲- پروژه‌های فناوری نانو در راستای حل چالش‌های شناسایی شده در صنعت برق کشور

چالش صنعت برق و راه کار فناوری نانو	محصول منتخب	وضعیت فعلی
ایجاد سد حرارتی بین گازهای داغ موتور و بخش‌های فلزی که در آن دما دچار زوال می‌شوند	نانوپوشش‌های سد حرارتی پره توربین، نازل و محفظه احتراق توربین گازی	تولید نیمه صنعتی
جلوگیری از تخریب و فرسایش پره ها	نانو پوشش‌های مقاوم به سایش و فرسایش پره کمپرسور توربین گاز و پره توربین بخار و پمپ ها	تولید نیمه صنعتی
جلوگیری از خوردگی بر روی لوله های بویلر	پوشش‌های نانوساختار برای جلوگیری از خوردگی لوله‌های بویلر	تولید نیمه صنعتی
افزایش راندمان سیستم کندانسور	نانوپوشش‌های با انتقال حرارت بالا و ابرآب‌گریز در کندانسورها	تولید نیمه صنعتی
جلوگیری از اتلاف حرارت	نانو پوشش‌های عایقی	تولید نیمه صنعتی
تاثیر در ضریب انتقال حرارت سیالات در توسعه تجهیزات انتقال حرارت با بازدهی بالا	نانو سیال ها با ضریب انتقال حرارت بالا	تولید نیمه صنعتی
افزایش راندمان و کاهش اتلاف برق	مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در هسته ژنراتورها و ترانسفورماتورها	تولید نیمه صنعتی
بهبود خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی و کاهش هزینه‌های تولید و نگهداری و در نتیجه هزینه‌های تولید انرژی	جایگزینی آلیاژهای متداول با نانوکامپوزیت ها و آلیاژهای نانو کریستال	تولید نیمه صنعتی
تبدیل مستقیم حرارت تلف شده در سیستم های حرارتی به جریان الکتریسته	مولد های ترموالکتریک نانوساختار	تولید نیمه صنعتی
فیلتراسیون مناسب هوای ورودی و کاهش صدمات و خسارات وارده به کمپرسور و توربین	نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی	تولید نیمه صنعتی
کنترل میزان رسوب در آب ورودی نیروگاه	فیلترهای نانوساختار تصفیه آب و پساب	در حال رایزنی
روانکاری بی نقص، انتقال حرارت با راندمان بالا و ترمیم سطوح آسیب دیده	نانو روغن های روانکار	محصول آزمایشگاهی
کاهش مصرف سوخت، کاهش آلاینده‌گی و افزایش قدرت موتور، در سوخت های دیزلی	نانو افزودنی‌های سوخت نیروگاه	محصول آزمایشگاهی

فصل سوم: امکان‌سنجی مفهومی بکارگیری یک محصول نانو برای حل مشکل شناسایی شده

۱-۳- امکان‌سنجی مفهومی بکارگیری محصولات نانو برای حل مشکلات شناسایی شده در صنعت برق

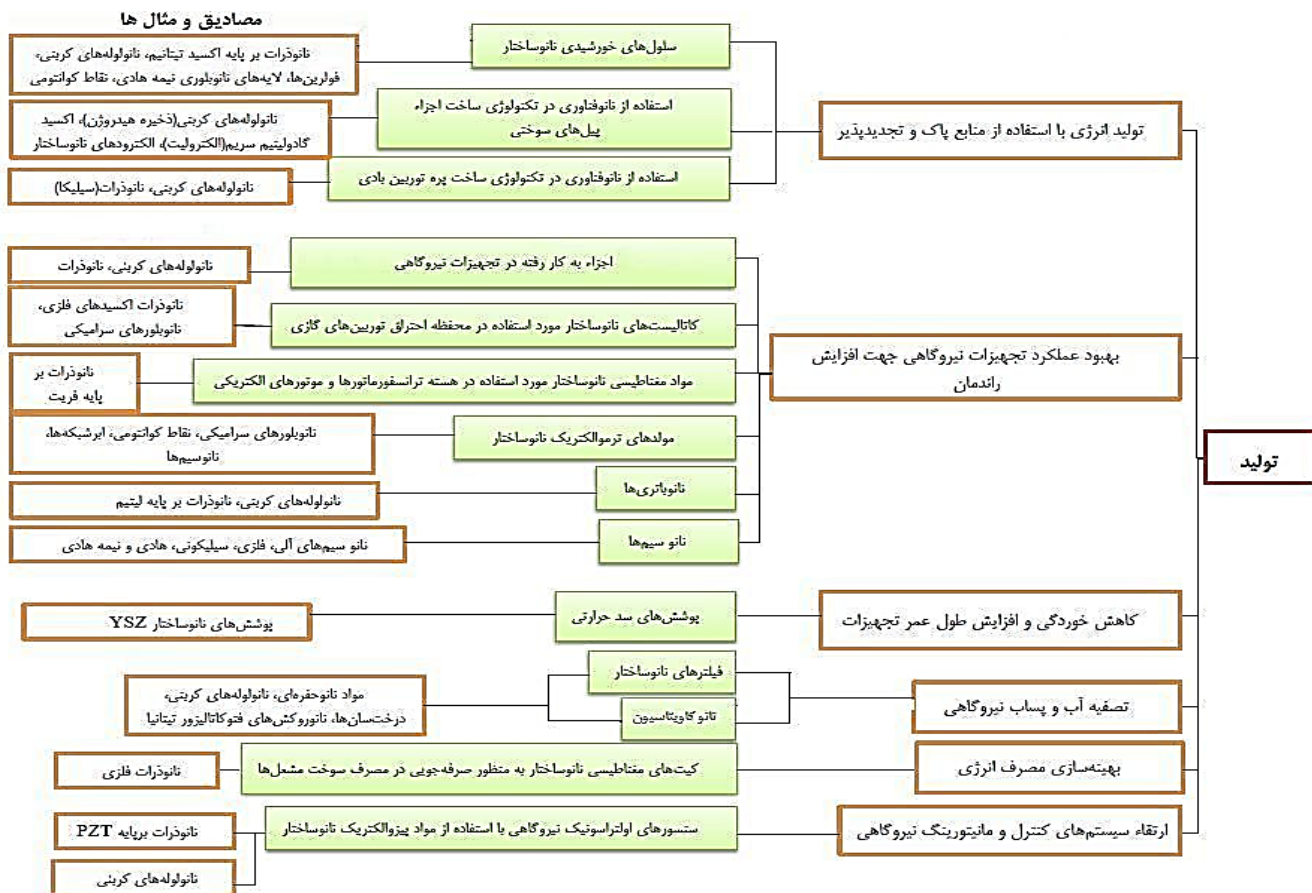
با توجه به بررسی‌های انجام شده در زمینه شناسایی حوزه‌های فناورانه نانو در این بخش به معرفی مهم‌ترین کاربردهای این فناوری در صنعت برق و انرژی در سه محور تولید، انتقال و مدیریت مصرف پرداخته شده است. در جداول ۱-۳ تا

۳-۴ سعی شده است با شناسایی اجزاء مختلف تجهیزات مورد استفاده در حوزه‌های تولید، انتقال و توزیع و مصرف که نانوفناوری می‌تواند به گونه‌ای مؤثر بر بهبود خواص، ارتقاء عملکرد، افزایش طول عمر، کوچک‌سازی ادوات مورد نظر و یا استفاده از قطعات یا مواد نانوساختار و همچنین استفاده از افزودنی‌هایی که بتواند موجبات بهبود خواص یا عملکرد تجهیز یا هدفی را در صنعت برق فراهم آورد، اهمیت کاربرد این فناوری و موارد استفاده از آن را مشخص نمود. همچنین برای رفع نیازمندیها و حل مشکلات موجود در صنعت برق در بخش‌های مختلف نیز می‌توان از نانوفناوری بهره گرفت بگونه‌ای که اهداف مورد نظر از نظر دستیابی به صنعتی پایا و توسعه یافته طی سال‌های آینده بتواند به بهترین نحو تأمین شود. از اینرو در جداول ذیل ضمن معرفی اجزاء مورد استفاده در تجهیزات مورد نظر در دو بخش ساخت اعم از قطعه یا سنتز مواد و همچنین بکارگیری نانوفناوری به صورت استفاده به عنوان یک تجهیز یا بهره‌مندی از افزودنی‌های بر پایه نانو یا پوشش‌دهی بر روی محصولات مورد استفاده در صنعت برق، کاربردهای فعلی یا محتمل در آینده برای نانو فناوری تعریف شده است. در جداول ذکر شده کاربردها به تفکیک در حوزه تولید، انتقال و توزیع و مصرف بیان شده است. حوزه تولید شامل تجهیزات نیروگاه‌های گازی، بخاری، سیکل ترکیبی، آبی و انرژی‌های تجدیدپذیر است.

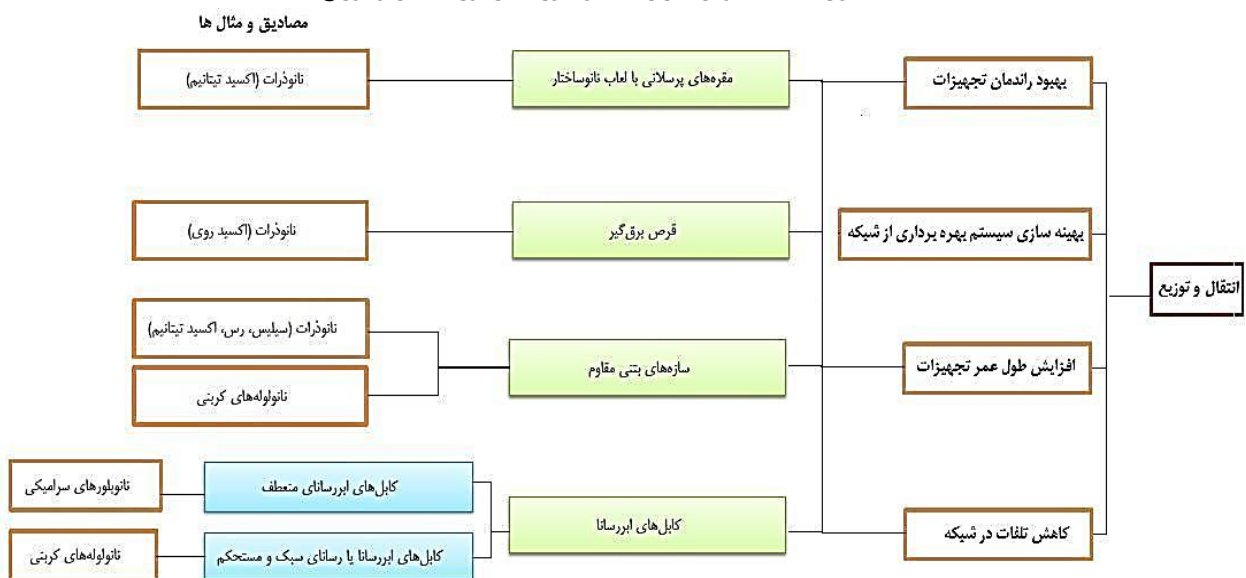
جدول ۳-۱- موضوعات کلان اولویت دار نانو

موضوعات کلان اولویت‌دار	نمونه‌هایی از زیر شاخه‌ها	نمونه‌هایی از فناوری‌های مشترک
انرژی	صرفه جویی انرژی پیل‌های خورشیدی تبدیلات سوخت‌های فسیلی بهبود کیفیت پیل‌های شیمیایی	نانو فیلتر نانو کاتالیست نانو کامپوزیت پوشش دهی نانویی نانوذرات نانوبیو نانوسنسور
سلامت	داروهای جدید کیت های تشخیصی	
محیط زیست و آب	تصفیه آب	
مواد	نمک‌زدایی تصفیه پساب	
سازه‌ها	مقابله با خوردگی استحکام ساختمان و زیر بنا	

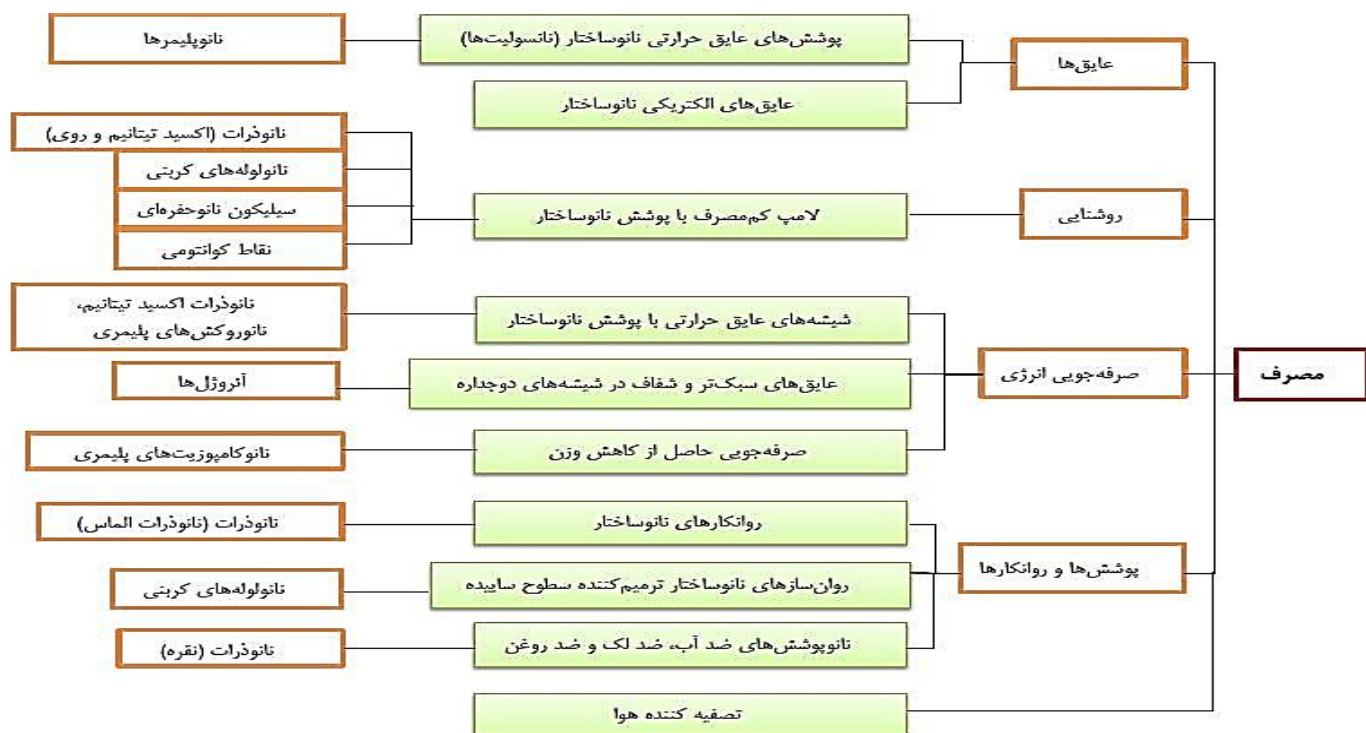
جدول ۳-۲- عناوین کاربردی نانوفناوری در حوزه تولید



جدول ۳-۳- عناوین کاربردی نانوفناوری در حوزه انتقال و توزیع



جدول ۳-۴- عناوین کاربردی نانوفناوری در حوزه مصرف



تجهیزات موجود در نیروگاه‌ها شامل توربین، کمپرسور، محفظه احتراق، سیستم سوخت، بویلر، ژنراتور، سیستم تصفیه آب، سیستم پایش و سیستم دودکش می‌باشد. فناوری نانو پتانسیل استفاده در قسمت‌های مختلف این تجهیزات، در ساخت قطعه، پوشش و به صورت مواد افزودنی را داراست [3], [2]. در ادامه به بررسی کاربرد محصولات نانو برای حل مشکلات شناسایی شده در حوزه‌های مختلف صنعت برق پرداخته شده است.

۱-۱-۳- پره توربین

قطعات زیادی در نیروگاه تحت تنش‌های بالا است، استفاده از موادی با استحکام بالا می‌تواند هزینه‌های تولید و نگهداری و در نتیجه هزینه‌های تولید انرژی را کاهش دهد. از جمله این قطعات، قطعات متحرک توربین و ژنراتور، محورهای دوران است. در مورد مواد فلزی، فناوری نانو با استفاده از نانو ساختار کردن فلزات حجیم توانسته است مواد فلزی جدید با خواص بهینه‌تر تولید کند. از جمله این موارد استفاده از روش نانو ساختار کردن فلزات به وسیله تغییر شکل پلاستیکی شدید و عملیات حرارتی بعد از آن می‌باشد که منجر به بالا رفتن شدید استحکام می‌شود [4]. از دیگر کاربردها، استفاده از نانوکامپوزیت‌های زمینه فلزی است که جهت نیل به استحکام بالا و یا خواص حرارتی خوب ساخته می‌شود. از جمله این موارد پره توربین است. شرکت Metallicum اولین شرکت در دنیا است که روی توسعه و تجاری‌سازی آلیاژها و فولادهای نانو ساختار متمرکز شده است. دیدگاه شرکت این است که کارکردی فوق‌العاده از فلزات نرم و آلیاژهایی که تحت فرآیند مورد استفاده این شرکت قرار می‌گیرند و به مواد فلزی پلی کریستال نانو ساختاری (با اندازه دانه‌های بسیار ریز) تبدیل می‌شوند را ارائه دهد. شرکت NanoSteels در آمریکا نیز شرکت دیگری است که در تولید فولادهای نانو ساختار فعالیت دارد. عمده فعالیت این شرکت، تولید محصولاتی فلزی با ساختار نانومتری است که قابل استفاده به صورت تجاری باشند. این شرکت ورقه‌های فولادی مختلف با ساختار نانو تهیه می‌کند. همچنین در زمینه پوشش‌های نانو ساختار بر روی این فولادها دیگر محصولات فلزی فعالیت دارد. علاوه بر این، این شرکت موفق به ساخت آلیاژی موسوم به Super Hard Steel شده است که تفاوت چشم‌گیری از لحاظ خواص استحکامی

و مقاومت فیزیکی با آلیاژهای مرسوم دارد Nanomat نیز نام مجموعه‌ای آلمانی از انستیتوهای تحقیقاتی است که روی سنتز و تولید سرامیک‌ها و فلزات نانو ساختار فعالیت می‌کند. مؤسسه‌ای که با هم در قالب این نام همکاری دارند کاملاً علمی بوده و از لحاظ فناوری در سطح بالایی قرار دارند. این مسئله با جایزه‌های زیادی (از جمله نوبل) که دریافت کرده‌اند قابل اثبات است ANI و SIIT دو مرکز در زمینه نانو فناوری آلیاژ آلومینیوم جدیدی را با استفاده از نانو تیوب‌های کربنی توسعه داده‌اند که هدایت حرارتی ۴-۵ برابر بیشتر از هدایت حرارتی آلومینیوم بدون CNT دارد SIIT يك سازمان در زمینه نانوفناوری است که توسط دولت ژاپن به طور کامل حمایت می‌شود.

پره توربین در توربین‌های گازی باید از دمای بالا و برخورد مستقیم با گازهای احتراق حفظ شود و با به کارگیری پوشش محافظ، ضمن ایجاد یک سد حرارتی از تسریع خوردگی نیز جلوگیری کرد. با توسعه فناوری نانو می‌توان از نانو پوشش‌های سد حرارتی در پره توربین گازی استفاده کرد. از جمله این پوشش‌ها که برای مهندسی قدرت و برای کارکرد بهتر توربین‌ها طراحی می‌شود پوشش‌های سد حرارتی یا TBC هستند [5][4].

فناوری نانو با ایجاد پوشش‌های سد حرارتی نانومتری می‌تواند بر مشکلات پوشش‌های متداول فائق آید و ضمن ایجاد پوششی مستحکم، پره را از شرایط دمای بسیار بالا و گاز احتراق که به شدت خورنده است، محافظت کند. این پوشش‌ها به دلیل اینکه به صورت لایه نازک هستند، باعث ایجاد تنش‌های پسماند بسیار کمتری در پوشش شده و با مصرف کمتر مواد، هم هزینه‌ها را کاهش می‌دهند و هم استحکام مکانیکی و مقاومت به رشد ترک بالاتری دارند. شرکت آمریکایی GE از نانو پوشش‌های فوق در ساخت پره توربین گازی استفاده کرده است. شرکت آمریکایی Inframat اقدام به تولید نانو پوشش‌های متخلخل سرامیکی مقاومت حرارتی IBC کرده است [7][6].

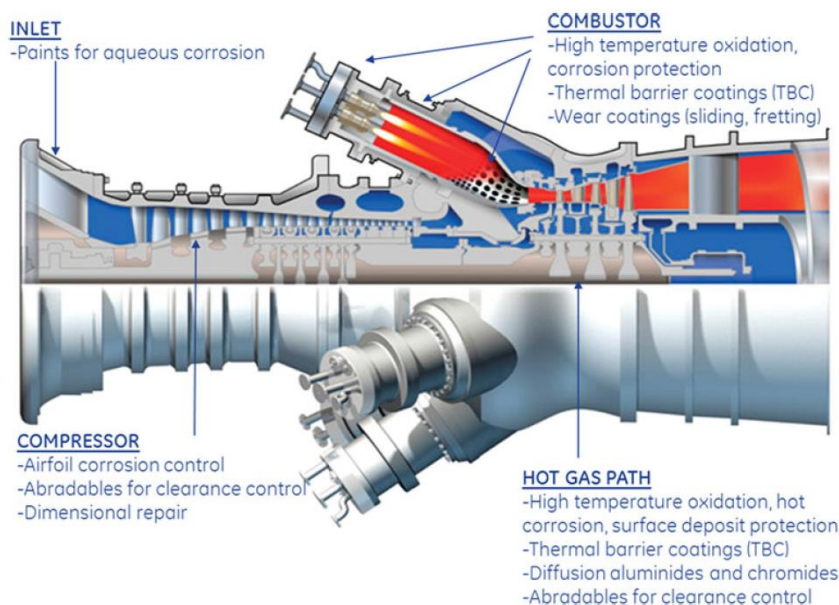
۲-۱-۳- پوشش‌های سد حرارتی نانو ساختار

بازدهی توربین‌های گازی با افزایش دمای کاری شدیداً افزایش می‌یابد اما چالش اصلی برای افزایش دمای کاری حفظ خصوصیات مکانیکی اجزای توربین به ویژه قسمتهای داغ در دمای بالا می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، آلیاژهای بسیاری ساخته و بکار گرفته شده‌اند اما بهترین نوع سوپر آلیاژهای پایه نیکلی، خواص مکانیکی خود را در دماهای بالای 850°C از دست می‌دهد. همچنین اجزای موتور توربین باید در مقابل اکسیداسیون در دماهای بالا و حملات خوردگی داغ مقاوم باشند. بنابراین برای افزایش دمای کاری موتور توربین از پوشش‌های سد حرارتی (TBC^1) به منظور ایزوله کردن حرارتی اجزای داغ، استفاده میشود. از جمله این اجزا می‌توان به پره‌های متحرک توربین^۲، محفظه‌های احتراق^۳، پره‌های ثابت ردیف اول اشاره کرد [5]. نمونه‌ای از پوشش‌های سد حرارتی بکر رفته در توربین‌های گازی بر حسب دمای کاری در شکل ۱-۳ ارائه شده است.

¹ Thermal Barrier Coating

² Turbine Blades

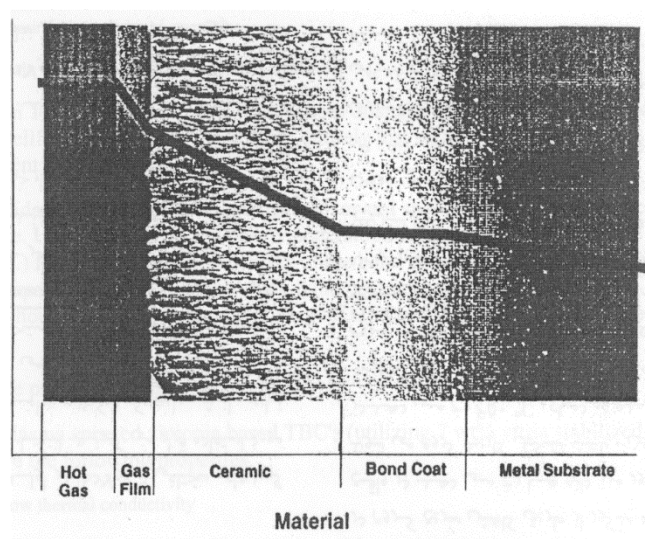
³ Combustor Cans



شکل ۳-۱- نمونه ای از پوشش های بکار رفته در توربین های گازی بر حسب دمای کاری [4]

پوششهای TBC از سه بخش عمده تشکیل می شوند [8]:

- یک لایه سرامیکی که معمولاً از جنس 7wt%YSZ (زیرکونیای پایدار شده با ایتریا) است که به آن پوشش بالایی گفته می شود.
 - یک لایه پوشش فلزی که بین پوشش سرامیکی بالایی و فلز پایه قرار می گیرد و جنس آن غالباً از آلیاژ MCrAlY یا Pt-Aluminide است و به آن پوشش پیوند گفته می شود.
 - یک لایه پیوندی آلومینایز شده بین پوشش پیوندی و فلزی پایه
- از آنجاییکه دما در نواحی داغ موتور توربین می تواند به 2000°C نیز برسد، پوششهای سد حرارتی سدی بین گازهای داغ موتور و بخشهای فلزی که در آن دما دچار زوال می شوند ایجاد می کنند. لایه سرامیکی (پوشش بالایی) فلز را ایزوله می کند و باعث می شود که اولاً، با بالاتر رفتن دمای کاری، بازدهی موتور افزایش یابد، دمای اجزای فلزی پایین تر بیاید و در نتیجه زوال، دیرتر صورت بگیرد، احتیاج کمتری به خنک کننده باشد و احتمال زوال حرارتی کم شود، که اینها در مجموع منجر به بهبود کارایی، بازدهی بیشتر و طول عمر بیشتر اجزای موتور توربین می شود. تأثیر حضور لایه های مختلف پوشش سد حرارتی در شکل ۳-۲ به وضوح مشاهده می شود.



شکل ۳-۲- شیب حرارتی در ضخامت پوشش سد حرارتی [4]

در این شکل، نحوه تعدیل دمای جزء پایه فلزی، مشاهده می‌شود. پوشش سد، از گاز داغ داخل محفظه، تشعشع دریافت می‌کند که دمایی در حدود 2000°C دارد. اما یک لایه نازک گاز خنک‌تر (1200°C) نزدیک سطح سرامیکی وجود دارد که خودش عامل افت حرارتی است و همانطور که ملاحظه می‌شود شیب حرارتی ایجاد شده در ضخامت لایه پوشش سرامیکی باعث می‌شود که دمای فلز پایه به نسبت گاز داغ محفظه، بسیار پایین‌تر باشد [9].

از مهمترین خواص TBC ها میتوان به هدایت حرارتی کم و افزایش شیب حرارتی بین محفظه و فلز پایه، اشاره کرد. YSZ بکار رفته برای این پوششها تا دمایی حدود 1150°C مقاومت بسیار خوبی در مقابل شوک حرارتی و خستگی حرارتی دارد. این پوشش غالباً به روشهای پاشش پلاسمایی و EBPVD^۱، لایه نشانی می‌شوند. همچنین برای کاربردهایی مثل نوک پره‌ها که باید خواص سایشی خوبی نیز داشته باشند، از روش پاشش HVOF^۲ استفاده می‌شود. لایه پوشش پیوندی، که از جنس MCrAlY (M = Co, Ni یا Co/Ni) است در پره‌های ردیف اول و دوم توربین و پره‌های ثابت هادی نازل^۳ به عنوان روکش های مقاوم به خوردگی و لایه پیوندی در ساختار TBC به کار می‌روند.

اگر چه طی دو دهه اخیر، TBC ها در موتورهای توربین، به شدت در حال رشد و توسعه‌اند، زوال ناگهانی TBC ها، در سیکل‌های حرارتی، هنوز مشکل مهمی محسوب می‌شود که شدیداً عمر قطعه پوشش داده شده را کم می‌کند. بنا بر عقیده محققین، مهمترین پارامترها در بهبود و کارایی پوشش های TBC عبارتند از:

- افزایش نفوذ پذیری
- افزایش چقرمگی
- افزایش استحکام و سختی
- کاهش هدایت حرارتی
- افزایش ضریب انبساط حرارتی (CTE)

¹ Electron Beam Physical Vapor Deposition

² High Velocity Oxyfuel Spraying

³ Nozzle Guide Vanes

- افزایش مقاومت به اکسیداسیون و خوردگی داغ، که با ریز کردن ابعاد دانه‌ها و کریستال‌ها در پوشش‌های نانو، دستیابی به شرایط فوق مهیا می‌شود.

پوشش‌های پایه زیرکونیا به دلیل هدایت حرارتی کم و ضریب انبساط حرارتی بالا در TBC ها بطور گسترده‌ای بکار می‌روند، اما اخیراً موضوع مهم، تحقیق در باب زیرکونیای نانو ساختار و تأثیر آن بر پوشش‌های حاصل از پاشش حرارتی است. بنا بر گزارش‌های مختلف، YSZ نانو ساختار میتواند موجب بهبود کارایی TBC ها شود، چون به شدت هدایت حرارتی را کم می‌کند و ضریب انبساط حرارتی را بالا می‌برد.

از میان روش‌های ذکر شده، برای لایه نشانی نانو پوشش‌های بکار رفته در تجهیزات نیروگاهی، بخصوص پوشش‌های مقاوم به سایش و پوشش‌های سد حرارتی، بیشتر از روش پاشش پلاسما و EBPVD استفاده می‌شود. این دو روش (PVD و پاشش پلاسما)، خود به شکل‌های گوناگونی انجام می‌شوند. به عنوان مثال لایه نشانی به روش مگنترون و لایه نشانی فیزیکی در فاز بخار به کمک پرتوهای یونی (EB-PVD)، دو روش از لایه نشانی فاز بخار (PVD) هستند و از میان روش‌های مختلف برای پاشش پلاسما نیز می‌توان به APS^۱، VPS^۲، SPPS^۳، SCP^۴ اشاره کرد [10].

۳-۱-۳- نانو پوشش‌های مقاوم به سایش در موتور و دیگر قطعات متحرک نیروگاه

مواد و پوشش‌ها با ساختار نانو به واسطه کاهش اندازه، قابلیت اصلاح خواص فیزیکی و مکانیکی را دارا می‌باشند. استفاده از مواد با ساختار نانو مزایای مختلفی دارد در فلزات با کاهش اندازه دانه، به سختی و استحکام بالاتری می‌توان دست یافت در سرامیک‌ها به علت کاهش مقدار عیوب و افزایش آزادسازی تنش در مرز دانه‌ها، سختی و تافنس بالاتری به دست می‌آید همچنین در نتیجه افزایش مرزهای دانه نفوذپذیری و ضریب انبساط حرارتی (CTE) افزایش، هدایت حرارتی و مدول ینگ کاهش می‌یابد. در نتیجه این ویژگی‌ها، مواد نانو ساختار می‌توانند در پوشش‌های سد حرارتی کاربرد داشته باشند. پوشش‌های سد حرارتی به صورت وسیع در توربین‌های گازی برای عایق کردن قطعات توربین، از گاز داغ استفاده می‌شود.

امروزه دامنه جدیدی از پوشش‌ها با ساختار نانومتری توسعه یافته است که می‌توان خواص مهندسی ویژه‌ای را در لایه‌های سطحی به وجود آورد که در روش‌های کلاسیک مقدور نیست. با تغییر ساختار میکروسکوپی پوشش‌ها و ایجاد نانو ذرات می‌توان مقاومت سایشی پوشش‌ها را افزایش داد. از جمله مزایای مواد نانومتری به خصوص به صورت نانو ساختار عبارت از افزایش کیفیت خواص پوشش، افزایش طول عمر سرویس پوشش، سازگاری بیشتر با محیط زیست، مقاومت به سایش، اکسیداسیون و خوردگی به همراه مقاومت خوب به رشد ترک و شوک حرارتی است. شرکت سوئسی PannonPLATIT در این عرصه فعال است. شرکت آمریکایی Inframaat نیز در این عرصه فعال است [6][7].

اجزای یک موتور توربین گازی باید در برابر بار اعمال شده، دمای بالا و محیط خورنده یا فرساینده مقاومت کنند. موتورهای پیشرفته از پوشش‌های بهبود یافته مختلفی بصورت نانو ساختار در اجزای مختلف گرم و سرد توربین استفاده می‌کنند. منظور از منطقه سرد توربین، بخش کمپرسور توربین است. در قسمت فن و کمپرسور توربین گازی، پوشش‌های مقاوم به سایش و فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخورد ذرات گرد و غبار عبور کرده از فیلترهای هوا یا قطرات ناشی از رطوبت به سطح پره کمپرسور توربین گازی موجب تخریب تدریجی سطح پره شده و علاوه بر خرابی

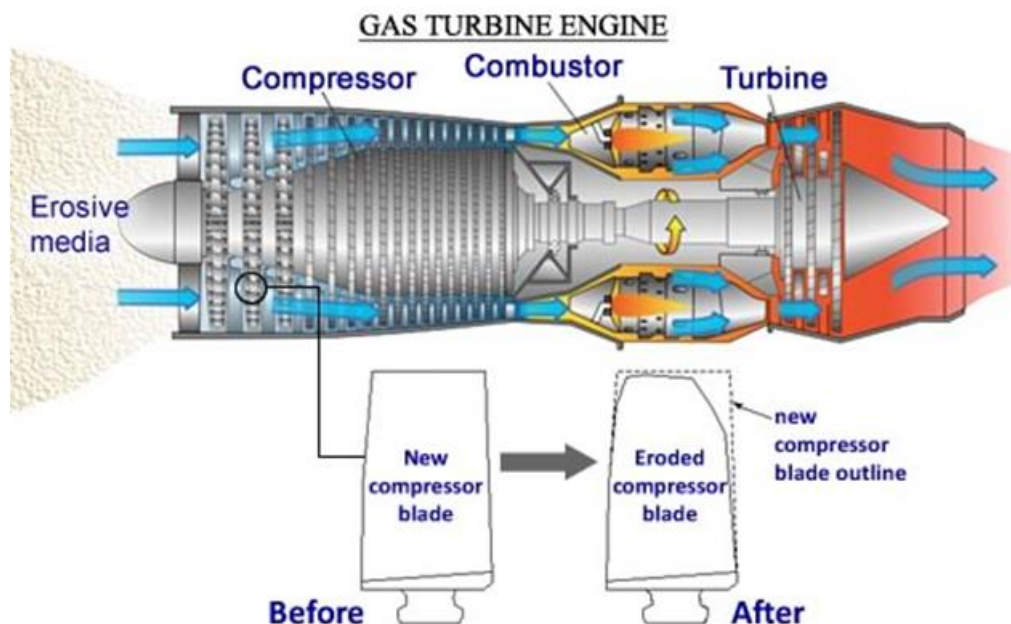
¹- Air Plasma Spraying

²- Vacuum Plasma Spraying

³- Solution Precursor Plasma Spraying

⁴- Spray Conversion Processing

قطعه باعث کاهش راندمان آن می‌گردد. شماتیک تخریب سطحی پره‌های کمپرسور توربین گازی در اثر برخورد با ذرات ساینده در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳- شماتیک تخریب سطحی پره‌های کمپرسور توربین گازی در اثر برخورد با ذرات ساینده [3]

فرسایش ذرات جامد (SPE) و حالت فرسایش قطرات مایع کوچک (LDE) سبب خسارت رساندن به اجزای توربین مثل کمپرسورهای گازی و پره‌های توربین می‌شود. SPE باعث کاهش بازده توربین و کاهش ضریب اطمینان ایرفویل‌ها و موجب انهدام آن در طول سرویس دهی می‌شود. همچنین به علت وجود رطوبت احتمالی در هوای کمپرسور پدیده‌ی خوردگی نیز از آسیب‌های احتمالی قطعات مذکور محسوب می‌شود. منشاء رطوبت به دلیل بارندگی، کندانس آب از هوای مرطوب محیط اطراف و یا وجود سیستم‌های سرمایشی تبخیری می‌باشد که تنها در ردیف‌های اول تا هشتم کمپرسور وجود خواهد داشت و در ردیف‌های بعدی به دلیل افزایش تدریجی فشار و دما به بالاتر از دمای جوش آب قطرات مایع وجود نداشته و به فاز بخار تبدیل می‌شود.

وقتی یک قطره در توربین بخار به سطح پره برخورد کند فشار بسیار زیاد ناگهانی در مدت زمان کوتاهی تولید می‌شود. موج فشار باعث تغییر شکل پلاستیک مواد می‌شود. تکرار این تغییر شکل پلاستیک باعث افزایش تنش داخلی شده و بعد از مدت زمان معینی، تمرکز تنش در بعضی از سطوح افزایش می‌یابد و از استحکام کشش ماده بالاتر می‌رود و آن‌گاه ترک شکل می‌گیرد. همچنین بخش‌ها و قطعات زیادی در نیروگاه‌های فسیلی و آبی و هسته‌ای یاتاقان‌ها، محورهای چرخش را نام برد. انتخاب پوشش‌های مناسب که نیازهای قطعه را جهت کارکرد بهینه برآورده سازند در این قطعات ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین پره‌های متحرک کمپرسور در طی سیکل کاری خود در معرض تنش‌های آیرودینامیکی و نیروهای گریز از مرکز مکانیکی می‌باشند. در نتیجه همواره مستعد پدیده‌های خستگی (پرچرخه و کم‌پرچرخه) در ایرفویل و همچنین خستگی فرسایشی در ریشه‌ی پره‌ی متحرک در تماس با دیسک هستند.

پره‌های ثابت و متحرک کمپرسور عموماً از جنس آلیاژهای فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی AISI 403 یا AISI 403+Cb یا اخیراً فولاد زنگ‌نزن رسوب‌سختی شده GTD-450 از ترکیب Fe15.5Cr6.3Ni0.8Mo0.03 و در برخی موارد آلومینیوم، تیتانیوم و یا سوپرآلیاژهای پایه نیکل ساخته می‌شوند. پوشش‌های مختلفی برای جلوگیری از تخریب این

پره‌ها بر روی آن‌ها اعمال می‌شود. نسل اولیه پوشش‌های بکار رفته NiCd یک پوشش چقرمه نیکل با لایه فداشونده از کادمیم بود. در ادامه پوشش‌های چندلایه دیگر آلومینیومی به همراه لایه فوقانی دوغایی سرامیکی مورد استفاده قرار گرفتند. پوشش‌های جدید سرامیکی TiN به صورت‌های دو جزئی و سه جزئی و چند لایه‌های نانوساختار نیز برای این منظور مورد بررسی قرار گرفتند. برخی از پوشش‌های متداول مورد استفاده در این پره‌ها شامل پوشش‌های تک لایه TiN، CrN، ZrN، TiAlN و پوشش‌های چند لایه Cr/CrN، Ti/TiN و سوپر شبکه CrN/NbN هستند. تکنولوژی پوشش‌های مورد استفاده در توربین‌های گازی PVD، CVD و اسپری حرارتی و نفوذی و آبکاری الکتریکی می‌باشد. همچنین با توجه به نیازها و تقاضاهای جدید صنایع، تاکنون پنج نسل مختلف از پوشش‌های سخت و مقاوم به سایش توسعه یافته است. نسل چهارم این پوشش‌ها، پوشش‌های نانوکامپوزیتی هستند که به دلیل نیاز به افزایش هم‌زمان خواص از جمله سختی، چقرمگی و پایداری حرارتی توسعه یافته‌اند. در سال‌های اخیر پوشش‌های نانوکامپوزیت (به خصوص TiN نانوکریستالین در زمینه آمورف Si₃N₄ یا نانوکامپوزیت TiN/Si₃N₄) توسط چندین گروه تحقیقاتی در دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است. این پوشش‌ها در آزمون‌های آزمایشگاهی بسیار سخت هستند و مقاومت به سایش بسیار خوبی را از خود نشان می‌دهند. علاوه بر پره‌ها، پمپ‌ها و قطعات زیادی در نیروگاه‌های حرارتی وجود دارد که انتخاب پوشش‌های مناسب که نیازهای قطعه را جهت کارکرد بهینه برآورده سازند در این قطعات ضروری به نظر می‌رسد. حرکت سیال و برخورد ذرات موجود درون سیال موجب فرسایش اجزا و قطعات داخلی ولو‌ها خواهد شد. این مشکل بخصوص در مورد ولوهای نیروگاهی که حاوی سیالات دما بالا یا جریان بخار هستند، بسیار شدید تر می‌باشد. با کمک روش‌های مختلف لایه نشانی نانو پوشش‌های سخت سرامیکی با ضخامت‌های نانومتری تا چند ده میکرومتری با سختی بالا (تا چند هزار ویکرز) قابل اعمال است که می‌تواند قابلیت تحمل شرایط سخت محیطی از جمله خوردگی، فرسایش و سایش در ولو‌ها را افزایش دهد که این موضوع می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری و افزایش عمر ولو‌ها و کاهش هزینه‌ها گردد.



شکل ۳-۴- مقایسه عملکرد یک پره کمپرسور بدون پوشش با پره پوشش داده شده با نانوساختار نیتريد تیتانیوم

در توربین بخار پره‌های کم‌فشار نسبت به پره‌های پرفشار و فشار متوسط بیشتر در معرض تخریب ناشی از سایش و خوردگی هستند. پوشش‌های مختلفی برای جلوگیری از تخریب این پره‌ها بر روی آن‌ها اعمال می‌شود. برخی از پوشش‌های متداول مورد استفاده در این پره‌ها شامل پوشش‌های تک لایه TiN، ZrN، CrN، TiAlN و پوشش‌های چند لایه Cr/CrN، Ti/TiN و سوپر شبکه CrN/NbN هستند.

در سال‌های اخیر پوشش‌های نانوکامپوزیت (به خصوص TiN نانوکریستالین در زمینه آمورف Si_3N_4 یا نانوکامپوزیت $\text{TiN/Si}_3\text{N}_4$) توسط چندین گروه تحقیقاتی در دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است. این پوشش‌ها در آزمون‌های آزمایشگاهی بسیار سخت هستند و مقاومت به سایش بسیار خوبی را از خود نشان می‌دهند. موسسه تحقیقاتی EPRI در حال تحقیق بر روی نانوپوشش‌های مقاوم به سایش با استفاده از روش اعمال PEMS (Plasma Enhanced Magnetron Sputter) می‌باشد [11].

۴-۱-۳- مواد مغناطیسی نانو ساختار در ژنراتور نیروگاه و الکتروموتورها و دیگر قطعات الکتریکی

یکی از کاربردهای مهم مواد مغناطیسی در نیروگاه‌ها، استفاده از آنها در هسته ترانسفورماتورها و ژنراتورها و سایر موتورهای الکتریکی در پمپ‌ها می‌باشد. مهم‌ترین بخش یک ژنراتور نیروگاهی مگنت آن است. همچنین در یک نیروگاه جهت سیلان هوا و آب و روغن و خنک‌کننده‌ها الکتروموتورهای زیادی در بخش‌های مختلف نیروگاه نصب شده است. در هر نیروگاه، تعداد زیادی از پمپ‌های فراهم‌کننده آب سرویس در قسمت دستگاه اصلی و قسمتی از سیستم‌های کمکی، به عنوان مثال دستگاه تصفیه آب، وجود دارند. مگنت‌های متداول بخشی از انرژی را به صورت نیروی اصطکاکی چرخش حوزه‌های مغناطیسی هدر داده و به صورت گرما آن را آزاد می‌کنند. در سال‌های اخیر پدیده‌های جدیدی در نانساختارهای مغناطیسی کشف شده است که سریعاً نیز به کاربردهای تکنولوژیکی رسیده است. فناوری نانو توانسته است با تولید نانومگنت‌ها تحول شگرفی در جهت کاهش یا حذف اتلاف انرژی در این ماشین‌ها ایجاد کند. از این رو با استفاده از نانومگنت‌ها در ژنراتور و الکتروموتورها می‌توان ضمن ایجاد نیروی الکتریکی بیشتر، هزینه تولید برق را کاهش داد و از اتلاف آن کاست. در صورت نانساختار کردن مواد مغناطیسی خواص مغناطیسی بطور مطلوبی تغییر می‌یابد. مواد مغناطیسی نانساختار دارای نفوذپذیری و مغناطش بالا، اتلاف هسته بسیار کم، افزایش شار مغناطیسی، دمای کارکرد بالاتر با افزایش دمای کوری، وادارندگی و میدان پسماند زدا (Hc) پایین، تغییر شکل کمتر مغناطیسی، اتلاف انرژی بسیار کم در فرکانسهای بالا، استحکام مکانیکی بالا و ... می‌باشند.

با کمک فناوری نانو فریت‌های مغناطیسی مختلفی از جمله نانو پودرهای پایه Fe (Co)-B، نانو پودرهای Fe-Si-B به همراه ذرات ریز Nb و Cu، Fe-Zr-B، Fe-Co-B ارائه شده‌اند و به مرحله تجاری سازی رسیده‌اند. به عنوان مثال Finemet اولین ماده مغناطیسی نرم نانوکریستالی در جهان است که توسط شرکت Hitachi Metals توسعه داده شده است. همچنین آلیاژهای نانو کریستالی مغناطیسی با نام تجاری NANOPERM توسط شرکت آلمانی MAGNETEC GmbH ارائه شده است. این هسته‌های نانساختار در مقایسه با آلیاژهای آمورف رفتار بهتری را در فرکانسهای بالا با حداقل تلفات از خود نشان می‌دهند و برای استفاده در ترانسفورماتورها بسیار مناسب هستند و همچنین این پتانسیل وجود دارد که بتوان ترانسفورماتورها با ابعاد کوچکتر و تلفات کمتری را تولید نمود. روش ساخت این مواد، عملیات حرارتی کنترل شده آلیاژهای جهت تشکیل نانوکریستالها آمورف می‌باشد که وجود برخی عناصر آلیاژی موجب جوانه زنی و برخی دیگر از رشد بیش از حد کریستال‌ها ممانعت به عمل می‌آورند. در طول چند سال گذشته، افزایش تمایل به مطالعه در زمینه مواد نانو ساختار و پیشرفت‌های اخیر در تکنیک‌های ساخت و تغییر خواص باعث شده است که در زمینه کاربردهای مغناطیسی نیز، روشهای ساخت و تغییر خواص به کمک نانو فناوری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شوند که به کمک این مطالعات و پیشرفتهای کاربردهای این مواد و راندمان آنها، افزایش چشمگیری یافته است.

خواص بهینه مغناطیس‌های نانوساختار عبارتند از:

- استحکام مکانیکی بالا
- نفوذپذیری و مغناطش بالا
- اتلاف هسته بسیار کم
- عدم تغییر خواص در اثر اعمال عملیات مکانیکی، ارتعاشات و ...
- اتلاف انرژی بسیار کم در فرکانسهای بالا
- تغییر شکل کمتر مغناطیسی
- پایداری دمایی بسیار عالی و اثر Aging کم
- خواص فرکانسی بسیار خوب
- کنترل حلقه هیستریزیس B-H در حین آنیل کردن
- محدوده نفوذپذیری متفاوت
- کاهش بسیار هموار نفوذپذیری با افزایش فرکانس
- دمای کارکرد بالاتر

- تغییر دمایی کم نفوذپذیری و مغناطش اشباع و تغییر ابعادی در اثر مغناطیس

یکی از کاربردهای عمده مواد مغناطیسی، استفاده از آنها در هسته ترانسفورماتورها و موتورهای الکتریکی می‌باشد. در این راستا فریت‌های مغناطیسی مختلفی از جمله نانوپودرهای Fe-Si-B به همراه ذرات ریز Cu و Nb، Fe-Zr-B، Fe-Co-B معرفی شده‌اند که در مقایسه با بهترین آلیاژهای آمورف رفتار بسیار بهتری را در فرکانسهای بالا با حداقل تلفات نشان می‌دهند و برای استفاده در ترانسفورماتورها بسیار جالب توجه هستند. بهبود خواص مغناطیسی، کاهش تلفات با قابلیت کوچک شدن ترانسفورماتور از جمله مهم‌ترین مزایای استفاده از نانوپودرهای مربوطه می‌باشد [10].

اولین دسته این مواد، آلیاژهای Fe-Si-B دارای ذرات ریز Cu و Nb هستند. در این آلیاژ با سریع سرد کردن یک فاز آمورف ایجاد می‌شود که به محلول Fe-Si با ساختار کریستالی bcc دانه‌هایی به ابعاد ۱۰ nm استحاله می‌شود. این اتفاق حین عملیات حرارتی در دماهایی بالا تر از دمای کریستاله شدن، واقع می‌شود. حضور ذرات کم Cu، سرعت هسته گذاری فاز bcc را تسریع می‌کند و Nb، رشد دانه را به تعویق می‌اندازد.

در ساختار آمورف نظم ذرات ماده به نوعی به هم می‌ریزد و در نتیجه آن پدیده‌های خاص در ماده رخ می‌دهد. به‌طور مثال ماده نرم‌مغناطیس‌تر می‌شود، هدایت الکتریکی آن هم بیشتر شده و تلفات فوکو کاهش می‌یابد. به همین دلیل، استفاده از ورقه‌های آمورف در ترانسفورماتورها منجر به کاهش تلفات قابل توجهی می‌گردد. در شکل (۲-۶) نمونه‌هایی از مواد مغناطیسی مورد استفاده در هسته ترانسفورماتورها ارایه شده است.

علی‌رغم خواص بسیار خوب مواد نانو ساختار، در مقایسه با آلیاژهای آمورف پایه آهن، حد اشباع کمتری دارند. چون میزان Fe برای آمورف شدن کمتر است و ذرات Cu و Nb نیز حضور دارند. برای غلبه بر این مشکل از ماده نانو کریستال دیگری یعنی Fe-Zr-B استفاده می‌شود. مقدار Fe این آلیاژ به نسبت آلیاژ قبلی بیشتر است (۸۹- atm / ۸۳ در مقایسه با ۷۴ atm /) و مقدار اندوکسیون اشباع مغناطیسی بیشتری دارند (۱/۷T - ۱/۶T) [12].

برخی از محققین نیز موفق به ساخت نانو پودرهای پایه Fe (Co)-B با ابعاد ۷-۲۰ nm شدند و نشان دادند که ناهمسانگردی آنها تا دو برابر بیشتر از نمونه های حجیم است. البته لازم بذکر است پسماند زدایی (HC)^۱ در مواد فرومغناطیس نرم شدیداً به ابعاد دانه (d) بستگی دارد.

حد بحرانی اندازه (dc) حدود ۴۰ nm است که نزدیک به ضخامت دیواره حوزه مغناطیسی است. برای $H_c > d$ ، با کاهش ابعاد دانه، افزایش می یابد که مربوط به افزایش ناهمسانگردی مغناطو کریستال است. در مقادیر کمتر از dc، H_c خیلی سریع با کاهش ابعاد دانه، کاهش می یابد. در این محدوده به پیشنهاد Hertzer، H_c با توان ششم ابعاد دانه ($H_c \approx d^6$)، متناسب است. این کاهش تا رسیدن H_c به 1A/m ادامه می یابد. ریز کردن بیشتر دانه ($d < d_c$) باعث حذف اثر ناهمسانگردی مغناطو کریستال می شود. در این ابعاد دانه، میانگین اثر مغناطش روی دانه هایی با جهات کریستالی تصادفی باعث کاهش H_c می شود. چنین رفتار مغناطیسی شبیه وابستگی رفتار مکانیکی به ابعاد دانه است. در واقع اندازه دانه اثر مشابهی روی حرکت دیواره های حوزه مغناطیسی و نابجایی ها به ترتیب، تحت میدانهای مغناطیسی و تنش دارد [10].



شکل ۳-۵- نمونه هایی از مواد مغناطیسی مورد استفاده در هسته ترانسفورماتورها [13]

۵-۱-۳- مولد های ترموالکتریک

ترموالکتریسته در واقع عبارتست از تبدیل گرما به الکتریسته یا بالعکس. دو معیاری که لازم است در مواد ترموالکتریک مدنظر قرار گیرند عبارتند از: هدایت حرارتی و الکتریکی و کارآمدترین مواد برای این منظور موادی هستند که هدایت الکتریکی بالا و هدایت حرارتی پائین داشته باشند. این به معنای وجود گرادیان دمایی می باشد. پدیده ترموالکتریسته با کمیت بدون بعد ZT نشان داده می شود که در آن T ، دمای کار و Z متناسب با مربع ضریب سیبک (S)، هدایت الکتریکی (δ) و معکوس هدایت حرارتی (K) می باشد.

با کمک مولد های ترموالکتریک می توان حرارت تلف شده در سیستم های حرارتی را به طور مستقیم به جریان الکتریسته تبدیل نمود. پدیده ترموالکتریسته به تبدیل مستقیم گرما به الکتریسته یا بالعکس اشاره دارد. یک مازول ترموالکتریک از تعدادی زوج قطب نیمه هادی قطب منفی و مثبت تشکیل شده که بین دو صفحه سرامیکی رسانای

¹ Coereivity

گرما ولی عایق از لحاظ الکتریکی بصورت ساندویچی قرار گرفته اند. با قرار گیری این مازول بین دو سطح گرم و سرد و حرکت الکترون ها از بخش گرم به سرد جریان الکتریکی ایجاد می گردد. کارآمدترین مواد برای این منظور باید دارای ضریب سیبک (S) بالایی باشد تا بتواند ولتاژ لازم را تولید نماید. همچنین هدایت الکتریکی (σ) بالا برای حرکت بهتر الکترون و هدایت گرمایی (K) پایین به منظور حفظ گرادیان دمایی داشته باشند. با بکارگیری مواد نانوساختار بجای مواد نیمه‌رسانای متداول به خوبی می توان با حفظ یا حتی افزایش هدایت الکتریکی، هدایت حرارتی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد و راندمان این مازول‌ها را که با کمیت بدون بعد ZT نشان داده می شود تا دو برابر افزایش داد. به عبارت دیگر، یک ماده ترموالکتریک خوب باید دارای ضریب سیبک بالایی باشد تا بتواند ولتاژ لازم را تولید نماید و هم چنین هدایت الکتریکی بالایی داشته باشد تا اتلاف حرارتی برگشت ناپذیر (گرمای ژول) را کاهش دهد و نیز هدایت حرارتی (K) پایین داشته باشد تا اتلاف حرارتی در محل اتصالات ترموکوپل را کاهش دهد. در حال حاضر بهترین مواد مناسب این کار دارای ZT تقریباً یک هستند که باعث محدودیت کاربرد آنها می شود [14].

همانطور که اشاره شد، یک ابزار ترموالکتریسیته پایه از تعدادی ترموکوپل تشکیل شده که بین ۲ صفحه سرامیکی رسانای گرما ولی عایق از لحاظ الکتریکی ساندویچ شده است. این ترموکوپل ها شامل ۲ نیمه هادی هستند که بطور موازی در یک نقطه و بطور سری در نقطه دیگر به هم متصل شده اند. مهم ترین مانع گسترش استفاده از ابزارهای ترموالکتریسیته، بازدهی پایین آنها است که محققین با توسعه لایه های نانو ساختار BiTe (تلورید آنتیمون) به بازدهی دو برابر بیشتر از مواد ترموالکتریک قبلی دست یافته اند. به همین علت نام این مواد را ابر شبکه ها نامیده اند. انواع مختلف مواد نانو ساختار در ترموالکتریک ها که عمدتاً در راستای کاهش هدایت حرارتی است، عبارتند از :

- مواد نانو کریستالی (مانند BiTe، SbTe)
- چاه‌های کوانتومی (شامل لایه های فوق العاده نازک از مواد نیمه هادی)
- ابر شبکه ها (ساختاری متشکل از چندین لایه متناوب از فیلم های بسیار نازک به ضخامت چند نانومتر از مواد مختلف)
- نانوسیم‌ها و نانو ذرات

از نظر متخصصان اعتبار علمی و آثار علمی منتشره در صدر معیارهای تصمیم گیری برای راه اندازی فعالیتهای تحقیق و توسعه باشد. در عین حال با فرض ناکارآمدی نسبی ابزارهای جا افتاده ترموالکتریک و اینکه راه برطرف شدن این مشکل توسعه ساختارها و مواد جدید است، آنگاه اینکه اغلب فعالیتهای تحقیق و توسعه جاری در سطح علوم بنیادی انجام شود، دور از انتظار نخواهد بود.

در عین حال انتظار می‌رود فناوری نانو طی ده سال آینده از طریق توسعه مواد با k پایین‌تر و در نتیجه ZT بالاتر که نهایتاً به بهبود بازدهی منجر خواهد شد، نقش مهم و فزاینده ای در ترموالکتریسیته داشته باشد [15]. فعالیتهای تحقیق و توسعه‌ای محققین در این زمینه شامل کاربرد در بهبود مصرف سوخت و استفاده از حرارتی است که طی فرآیند احتراق تلف می‌شود ولی می توان از آن برای تولید برق و هم چنین تأمین الکتریسیته مورد نیاز بسیاری از سیستم‌های الکتریکی بهره گرفت. در این راستا هریک از موارد ذیل بعنوان محورهای تحقیق و توسعه در زمینه مواد ترموالکتریک مطرح می باشند :

- تحقیق و توسعه در زمینه بهره‌گیری از آلیاژهای بیسموت، آنتیموان و سلنید تلوریم برای خنک سازی
- بهره‌گیری از آلیاژهای تلورید سرب برای مولدهای دما متوسط و آلیاژ سیلیکون ژرمانیم برای مولدهای دما بالا

- تحقیق و بررسی در زمینه تبدیل گرمای حاصل از احتراق مواد سوختی در اتاق احتراق نیروگاهها به برق
 - تحقیق و بررسی راجع به روش‌های بهبود بازدهی ترموالکتریسته با استفاده از مواد نانو ساختار
 - بهره‌گیری از نانوسیم‌ها در افزایش بازدهی مولد های الکتریک
 - تحقیق و مطالعه بر روی تأثیر استفاده از نانو ذرات بر انتقال گرما
 - انجام تحقیقات کاربردی در مورد بهره‌گیری از مواد جدید نانو ساختار برای افزایش بازدهی مولدهای ترموالکتریک در صنعت برق
- زمینه‌های تحقیقاتی مذکور در سطح جهان حاکی از اهمیت کاربرد این مواد در صنعت برق و تأثیر استفاده از مواد نانو ساختار در راستای افزایش راندمان این مولدها و نتایج مثبت سازنده کاربرد نانوفناوری در این مولدها می‌باشد.

۶-۱-۳- افزایش راندمان سوخت کوره‌ها با استفاده از نانو افزودنی‌هایی از قبیل اکسید

سیریم

برای کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌گی، مواد افزودنی نانو ذرات در سوخت های بنزینی و دیزلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزودنی‌های سوخت در واقع نقش کاتالیستی دارند. یکی از این افزودنی‌ها اکسیدهایی هستند که نقش ذخیره اکسیژن را دارند. کاتالیستی که به سوخت اضافه می‌شود باید اکسیداسیون کامل هیدروکربن را باعث شود و گازهای خروجی کمتر و با آلاینده‌گی کمتر تولید کند. در مورد نحوه سوختن سوخت‌ها (خصوصاً سوخت‌های مایع) نانوفناوری می‌تواند با ورود نانوافزودنی‌ها به هر چه بهتر سوختن آنها کمک کند. به دلیل اینکه افزودنی باید خاصیت کاتالیستی اعمال کند نانو ذرات آن می‌تواند راندمان آن را به شدت افزایش دهد. پیش‌بینی می‌شود با تحقیقات پایه و کاربردی در زمینه نانوتکنولوژی سوخت و زمینه‌های وابسته به آن، بتوان به نتایجی شایان توجه دست یافت.

با مطالعه عناصر پایه (مانند نانوذرات، فولرین‌ها، اکسیدسیریم و...) و به کمک نانوتکنولوژی، می‌توان سوخت‌های جدیدی را با اندازه کمتر از ۳ نانومتر و با قابلیت استفاده گسترده تولید کرد که با استفاده از آنها ۱۰ تا ۳۰ درصد در مصرف سوخت صرفه جویی می‌شود و تولید آلاینده‌ها ۵۰ تا ۹۰ درصد کاهش می‌یابد. در ضمن قدرت موتور را ۱۰ تا ۳۰ درصد افزایش می‌دهد و صدای موتور را نیز کم می‌کند. در این بین مواد فولرین و اکسید سیریم فعلاً به عنوان مواد افزودنی کاهش دهنده مصرف سوخت شناخته شده‌اند و به مطالعه بیش‌تری نیاز دارند.

نانوماکس، یکی از محصولات هلندی در حوزه نانوتکنولوژی، یک افزودنی سوخت چند منظوره است که به صورت مایع بوده و سازگار با گازوئیل و برخی دیگر از سوخت‌ها است. سوخت‌های گازوئیلی که به آنها نانوماکس افزوده می‌شود می‌توانند تا حد زیادی اقتصاد سوخت را بهبود بخشند، تولید نیرو را افزایش داده و تقریباً تولید تمام محصولات مضر سوخت را کاهش دهد. نانوماکس توسط سازمان ملل به عنوان مؤثرترین و اقتصادی‌ترین افزودنی سوخت شناخته شده است. همچنین این شرکت توسط Forbes به عنوان بهترین شرکت حافظ محیط زیست شناخته شده است. کمپانی‌های H2OIL و Petrochina یک کارخانه افزودنی سوخت با استفاده از فناوری نانو در تیانجین چین احداث کرده‌اند. این شرکت‌ها که سابقه طولانی در تولید افزودین سوخت دارند ادعا می‌کنند که محصول جدید آنها به نام Nano ghost از دیگر مدل‌های متداول نانوتکنولوژی ۱۰۰۰ بار قوی‌تر است و قادر به تولید تمیزترین و کارآمدترین محصول سوخت گازوئیل و دیزل در جهان است Petrochina بزرگ‌ترین کمپانی شیمیایی در حوزه نفت در چین و H2OIL شرکت تحقیق و توسعه در کالیفرنیا و پیشروی تولید نانوافزودنی‌های سوخت در دنیاست. افزودنی سوخت گازوئیل به نام Envirox به وسیله شرکت (Oxonica شرکتی از دانشگاه آکسفورد) تولید و توسعه یافته است. این افزودنی از ذرات

ریز اکسید سریم با نام سریا تشکیل شده که به عنوان کاتالیست در واکنش احتراق با هوا عمل می‌کند. اکسید سریم به عنوان نوعی ذخیره اکسیژن عمل می‌کند. این ماده، اکسیژن را آزاد می‌کند تا منوکسید کربن و دیگر هیدروکربن‌ها را اکسید کند. نتیجه آن کار، سوخت تمیزتر به همراه فایده تبدیل سوخت بیش‌تر به دی‌اکسید کربن است. همچنین کربن و دود کمتری تولید، و دود و مواد احتراق خروجی نیز تمیزتر خواهند بود. محصول نانو افزودنی سوخت شرکت چینی Beijing china yuantong - ltd نیز توسط انستیتو مواد متخلخل و مکانیک سیالات آکادمی علوم چین، آزمایشگاه نوترون در دانشکده فیزیک هسته‌ای، انستیتو انرژی اتمی چین و انستیتو ملی استاندارد و فناوری ایالات متحده، آزمایش و تأیید شده است. این محصول آلودگی را تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهد و تولید نیرو را تا ۱۰ الی ۳۰ درصد (در موتورها) افزایش می‌دهد [7].

۷-۱-۳- کیت‌های مغناطیسی نانو ساختار به منظور صرفه‌جویی در مصرف سوخت مشعل‌ها

به منظور صرفه‌جویی در مصرف سوخت مشعل‌های مورد استفاده در صنعت، می‌توان کیت‌های مغناطیسی سر راه این مشعل‌ها قرار داد. عبور سوخت پلیمری از یک میدان مغناطیسی قوی بین ۱۰ تا ۴۰ درصد (بسته به فناوری مشعل) صرفه‌جویی در سوخت مشعل را در پی دارد [16].

۸-۱-۳- عایق‌های حرارتی نانو برای محفظه‌های احتراق

در یک نیروگاه فسیلی حداکثر حرارت تولیدی در محفظه احتراق باید صرف تولید انرژی شده و از اتلاف آن جلوگیری کرد. جهت جلوگیری از اتلاف حرارت از مواد عایق در اطراف محفظه احتراق و لوله‌های انتقال حرارت استفاده می‌شود. نانوکامپوزیت‌های آبروژل خواص اصلی آبروژل‌ها را داشته و در عین حال خواص مکانیکی و پایداری شیمیایی لازم برای مصارف خاص صنعتی را نیز دارا هستند. این کامپوزیت‌ها عایق‌های بسیار خوب حرارت هستند. این مواد نانو ساختار به خاطر مناسب بودن آن‌ها برای کاربرد در پانل‌های عایق و بلوک‌های نسوز در نیروگاه در محفظه احتراق و سایر قسمت‌هایی که نیاز به جلوگیری از اتلاف حرارت دارند قابل استفاده است. همچنین مواد نسوزی که از ذرات نانومتری تولید می‌شوند می‌توانند خاصیت ضد آتش بودن را به میزان بالاتر و توأم با استحکام مکانیکی داشته باشند. شرکت آمریکایی GE از نانوکامپوزیت‌های فوق در ساخت قطعات توربین گازی استفاده کرده است [17].

۹-۱-۳- نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی

سیستم‌های تصفیه هوای ورودی به کمپرسور توربین‌های گازی در نیروگاه‌های حرارتی تولید برق دارای اهمیت بسیار زیادی هستند. فیلتراسیون نامناسب هوای ورودی صدمات و خسارت‌های بسیاری به کمپرسور و توربین وارد می‌کند و به طور قابل توجهی بر عملکرد، کارایی و عمر توربین گازی تأثیر گذاشته و با ایجاد افت فشار بالا، راندمان تولید برق را کاهش می‌دهد. ذرات معلق گرد و غبار در هوا دارای اندازه‌های میکرونی هستند، از این رو فیلترهای معمولی کارایی و بازده مناسب و لازم را ندارند، به گونه‌ای که پس از گذشت زمان منافذ فیلترها مسدود شده و مقاومت آن در برابر جریان هوا زیاد می‌شود تا جایی که دیگر جریان هوا از آنها عبور نکرده و این باعث افزایش تعمیرات و هزینه‌های سیستم خواهد شد.

بر اساس ریزساختار کاغذ فیلتر و اندازه روزه ها دو مکانیزم متفاوت فیلتراسیون عمقی و سطحی در نحوه جداسازی ذرات وجود دارد. در فیلتراسیون عمقی ذرات بسته به اندازه خود در لایه های مختلف کاغذ فیلتر، جداسازی می‌شوند. اما در فیلتراسیون سطحی با کمک نانوفناوری همه ذرات در سطح کاغذ فیلتر جداسازی می‌شوند. با بکارگیری فناوری نانو، بستر فیلتر که وظیفه اصلی فیلتراسیون را بر عهده دارد، با نانوالیاف پوشش داده می‌شود. در این حالت سطح الیاف بزرگ سلولزی و یا مصنوعی که معمولاً دارای قطر بیش از ۱۰ میکرومتر هستند با لایه ای از نانوالیاف با قطر کمتر از ۱۰۰ نانومتر پوشانده می‌شود. با این کار دو مزیت حاصل می‌شود، نخست راندمان فیلتراسیون از طریق کاهش اندازه سوراخها ارتقا می‌یابد و دوم اینکه عمر فیلتر با بهره گیری از فیلتراسیون سطحی افزایش خواهد یافت و در بازه زمانی طولانی تری نیاز به تعویض فیلتر وجود خواهد داشت. روزه هایی که از تقاطع میان نانو الیاف ایجاد می‌شوند، بسیار کوچکتر از سوراخهای معمول در کاغذ های فیلتر هستند. همین امر سبب ارتقای کارایی جداسازی فیلتر و حفاظت بهتر از کمپرسور و موتور توربین و قطعات آن می‌شود. همچنین با توجه به تغییر مکانیزم و شیوه جداسازی و فیلتراسیون از عمقی به سطحی در نانوفیلترها با ایجاد لایه ای از نانو الیاف در سمت بیرونی کاغذ فیلتر، همه ذرات جداسازی شده در سمت بیرون کاغذ فیلتر باقی می‌مانند و در زمان اعمال پالس بخوبی فیلتر احیا می‌گردد و مجدداً قابل استفاده خواهد بود.

نانوفیلترها در حال حاضر در مقیاس صنعتی در کشور توسط چندین شرکت مختلف تولید می‌شود و با استفاده از فناوری نانو، کلاس جدیدی از فیلترها تعریف و ارائه شده است که دارای خواص و ویژگی‌های منحصر به فردی می‌باشد.

۱۰-۱-۳- نانو ذرات روانکار

روانکاری برای تسهیل حرکت نسبی سطوح در تماس باهم انجام می‌گیرد. عدم روانکاری صحیح ماشین آلات، علاوه بر کاهش راندمان مکانیکی و بازده زمانی، منجر به فرسایش زودرس آن‌ها می‌شود. امروزه برای روانکاری قطعات درگیر و کاهش اصطکاک و سایش آن‌ها، از نانو ذرات 52W استفاده می‌شود. این نانو ذرات کروی شکل برای تولید نانو لوب‌ها بکار می‌روند. عملکرد این نانو ذرات روانکار بسیار بهتر از روان کننده‌های معمولی بوده و در بین دو سطح مشابه بلبرینگ‌های بسیار کوچک عمل کرده و باعث کاهش اصطکاک و ساییدگی به خصوص در مواقع بارگیری زیاد می‌شوند. همچنین به کارگیری از نانو ذرات 52W منجر به افزایش طول عمر دستگاه و کاهش هزینه‌های نگهداری، سرویس و تعمیرات می‌شود. روان کننده نانو لوب به صورت افزودنی به روان کننده‌های مایع، گریس‌ها، به صورت پودر جامد، پوشش نازک روی فلزات و لایه پلیمری کامپوزیتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نانو افزودنی‌های روانکار در سطوح زیر بسیار خوب عمل کرده و به این ترتیب نیاز به کاملاً صاف بودن سطوحی که روی هم می‌لغزند برطرف می‌شوند.

۱۱-۱-۳- سنسورهای اولتراسونیک نیروگاهی با استفاده از مواد پیزوالکتریک

نانوساختار

از جمله سنسورهای پرمصرف در صنعت برق، سنسورهایی هستند که از فن‌آوری اولتراسونیک برای اندازه‌گیری‌های مربوطه استفاده می‌کنند. از این قبیل می‌توان به جریان سنج‌های اولتراسونیک و سطح‌سنج‌های اولتراسونیک اشاره کرد. در هر دوی موارد اشاره شده، ابتدا یک مبدل پیزوالکتریک یک موج فراصوتی تولید می‌کند که بسته به کاربرد، در محیط مایع یا گاز حرکت کرده و از طریق انعکاس یا عبور به همان مبدل یا مبدل دیگری که وظیفه دریافت موج

را برعهده دارد، می‌رسد. موج عبوری یا انعکاسی در این قسمت مجدداً به سیگنال تبدیل شده و برای پردازش به قسمت الکترونیکی سنسور فرستاده می‌شود.

شایان ذکر است که برای کاربردهای جریان‌سنجی و سطح‌سنجی از روش‌های گوناگونی می‌توان استفاده کرد که در این کاربردها با افزایش قیمت، دقت نیز افزایش می‌یابد. در این بین فن‌آوری اولتراسونیک از نظر قیمت در محدوده میانی و از نظر دقت در سطح بالایی قرار دارد. از این رو کاربرد گسترده‌ای در نیروگاهها دارد. این در حالی است که با توجه به کارکرد مناسب قطعات پیزوالکتریک و مجموعه سنسورهای اولتراسونیک، استفاده از این تجهیزات رو به گسترش بوده و در طرح توسعه و اتوماسیون نیروگاههای قدیمی نیز قرار دارد [4].

از دیگر کاربردهای سنسورهای اولتراسونیک کنترل تجهیزات غیر قابل دسترسی و یا تجهیزاتی که نزدیک شدن به آنها خطرناک است و همچنین در مواردی که آزمایشهای غیرمخرب مورد نیاز است، استفاده می‌شود. بعنوان مثال می‌توان به استفاده از این وسایل در ارزیابی جوش لوله‌های نیروگاهها، بدون نیاز به متوقف کردن فعالیت واحد مربوطه اشاره کرد.

ورود فناوری نانو به عرصه پیزوالکتریکها با گسترش استفاده از لایه‌های نازک پیزوالکتریک و کاربرد آن به عنوان جزئی از سیستم‌های سنسور یکپارچه همراه بوده است. کاربرد نانو فناوری در ساخت سنسورها نیز بسیار گسترده است که مزیت آن در ریز بودن، دقت بالا، کاهش اتلاف و نویز، عدم نیاز به تخریب قطعه برای جایگذاری سنسور، قابلیت پردازش و آنالیز و امکان بررسی پارامترهای فیزیکی به صورت نقطه به نقطه و بازرسی دقیق است.

در این میان استفاده از سرامیک‌های پیزوالکتریک PZT به عنوان قلب سنسورهای اولتراسونیک در صنعت نیروگاهی مطرح است که با تهیه نانوپودر آنها امکان ساخت قطعات پیزوالکتریک با خواص مطلوب‌تر و پارامترهای دی‌الکتریکی، پیزوالکتریکی و حتی خواص فیزیکی بهتر و کنترل شده‌تر به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین کاربردهای نانوتکنولوژی در صنعت برق و مبنای کار بسیاری از تحقیقات دانشگاهی مطرح آمریکا وجود دارد.

۱۲-۱-۳- تولید نانو فیلتراسیون آب ورودی و فاضلاب نیروگاهی

برای به حداقل رساندن خطر خوردگی لوله‌های دیگ بخار و رسوب‌های زیاد باقیمانده در سطح لوله‌ها و برای تهیه بخار لازم، می‌بایستی میزان رسوب در آب ورودی نیروگاه کنترل شود. این کنترل معمولاً توسط روش‌های، نصب واحد تصفیه مایعات به طور جزئی و یا کامل برای به حداقل رساندن ناخالصی‌های احتمالی خورنده موجود در آب ورودی، در صورت لزوم، تصفیه آب ورودی برای کنترل کردن رسوب ذرات معلق نامحلول و پایین بردن میزان آن‌ها، آب خروجی نیروگاه که حاوی مواد خطرناک برای محیط‌زیست است نیز باید تصفیه و سپس رها شود.

با ورود نانوفیلترهای ارزان به بازار، به جای فرآیند پرهزینه تصفیه آب‌های صنعتی می‌توان از نانو فیلتراسیون به عنوان جایگزینی برای بخشی از مراحل تصفیه آب استفاده کرد. نانو فیلتر به معنای فیلتری است که اندازه حفرات یا سوراخ‌های آن در حد و اندازه‌های نانومتری است. این در حالی است که بسیاری از موادی که در آب وجود دارند، حتی مواد آلی و نیز باکتری‌ها و ویروس‌ها اندازه‌ای بزرگتر از اندازه سوراخ‌های نانومتری یک نانوفیلتر دارند. پس می‌توان با نانو فیلترها این مواد را بدون افزودن مواد شیمیایی از آب حذف کرد. این غشاءهای نانومتری می‌توانند باردار بوده و توانایی حذف یون‌ها را نیز دارا باشند. با در دسترس قرار گرفتن این فیلترها در نتیجه توسعه فرایندهای ساخت، می‌توان از طریق کاهش مواد شیمیایی مصرفی در هزینه‌های تولید صرفه‌جویی کرد [7].

شرکت هلندی norit غشاءهای نانوفیلتراسیون و اولترافیلتراسیونی به نام $x - flow$ تولید می‌کند که قادر به تصفیه خوراک ورودی با ناخالصی‌های تا 200 mg/l این غشاءها طوری ساخته شده‌اند که توزیع آب را در همه سطح غشاء تضمین می‌کند و نیز امکان شستشو در جهت Back - wash را نیز دارا است. شرکت Argonide از تولیدکنندگان این نوع فیلترها در آمریکا است. نام تجاری فیلتر تولیدی این شرکت نانو سرام است. این فیلتر قادر به فیلتراسیون کوچک‌ترین ذرات بوده و کارایی آن به خاطر الیاف نانومتری آلومینا می‌باشد که در ساختمان آن به کار رفته است. این فیلترها قادر به فیلتر کردن 99.99% از ویروس‌ها و باکتری‌ها و میکروب‌ها از آب، با شدت جریان حدود 200 برابر سریع‌تر از غشاءهای مرسوم، است [17]. فناوری‌های مورد استفاده در تصفیه آب عبارتند از:

- نانو ذرات

نانوذرات دارای دو ویژگی کلیدی هستند که استفاده از آنها را به عنوان جاذب جاذب می‌سازد. آنها دارای نواحی سطحی بسیار وسیعتری از ذرات توده هستند. همچنین نانوذرات می‌توانند با گروه‌های شیمیایی مختلف برای افزایش میل به حذف ترکیبات هدف ترکیب شوند. نانوذرات مانند نانو لوله‌های کربنی چند جداره، به منظور توسعه جاذب‌های با ظرفیت بالا و انتخابی برای یونهای فلزی و آنیون‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. جذب یون‌های فلزی توسط نانولوله‌های کربنی چند جداره 3 تا 4 برابر بیشتر از جاذب‌های متداول مورد استفاده در تصفیه آب (کربن فعال پودری و کربن فعال دانه ای) هستند.

نانوذرات دارای پتانسیل بسیار زیادی به عنوان کاتالیست و فیلتر فعال ردوکس برای تصفیه آب می‌باشند و این به دلیل نواحی سطحی وسیع، اندازه، خواص نوری، الکترونیک و کاتالیستی وابسته به شکل آنها است. در طول دهه گذشته، نانوذرات دی اکسید تیتانیوم (TiO_2) به عنوان کاتالیست‌های نوری برای تصفیه آب ظهور کرده‌اند. نانوذرات دی اکسید تیتانیوم دارای تنوع بسیار زیادی می‌باشند و می‌توانند به عنوان کاتالیست‌های اکسیدکننده و احیاءکننده برای آلاینده‌های آلی و معدنی مورد استفاده قرار گیرند. با افزودن نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم به آب‌های آلوده و در حضور نور ماوراء بنفش، حذف کربن آلی به شدت افزایش می‌یابد.

نانومواد فرصت‌های بی‌بدیلی برای توسعه بیوسایدهای بدون کلر (Chlorine-Free Biocide) فراهم می‌آوردند [18]. بررسی واکنش نانوذرات با باکتری‌ها توسط میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM)، میکروسکوپ انتقال الکترونی (TEM) و میکروسکوپ لیزری کانونی، تغییرات قابل توجهی را در تمامیت غشای سلولی نشان می‌دهند که منجر به مرگ باکتری‌ها در اکثر موارد می‌گردد.

از آنجا که نقره یک ظرفیتی Ag(I) و ترکیبات نقره به عنوان ترکیبات ضد میکروبی در فرآورده‌های مختلف بیوپزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، محقق بسیاری استفاده از نانوذرات نقره را به عنوان بیوساید مورد بررسی قرار داده‌اند [14], [19]–[22].

- غشاء های نانوساختاری و واکنشی

فرآیندهای غشاء نظیر اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس در حال ظهور به عنوان مولفه‌های کلیدی تصفیه آب پیشرفته و فن‌آوری‌های شیرین نمودن آب هستند. نانومواد در حال ایجاد فرصت‌های نوینی برای توسعه کارآمد تر و مقرون به صرفه تر غشاء های نانوساختاری و واکنشی برای تصفیه و شیرین نمودن آب هستند.

غشاءهای نانوفیلتراسیون معمولاً از یک لایه بسیار نازک و یک لایه محافظ تشکیل شده‌اند. لایه نازک و متراکم عمل جداسازی را انجام می‌دهد و لایه محافظ باعث حفاظت غشا در مقابل فشار سیستم می‌شود. ضخامت لایه نازک و مقدار

تخلخل آن مقدار شار عبوری را کنترل می‌کند. غشاهای نانوفیلتراسیون معمولاً در دو نوع باردار و غیر باردار موجودند. توان رقابت فرآیند نانوفیلتراسیون در برابر دیگر فرآیندها وقتی بارزتر می‌شود که از غشاهای نانوفیلتراسیون باردار در این فرآیند استفاده شود.

جنس غشاهای غیر باردار معمولاً از پلیمرهایی نظیر استات سلولز و پلی آمید می‌باشد. جنس غشاهای باردار به نوع بار (مثبت، منفی و دو قطبی) بستگی دارد [23].

۱۳-۱-۳- نانو فیلتراسیون گازهای آلاینده خروجی نیروگاه (سیستم دودکش)

یکی از معضلات همیشگی نیروگاه‌های سوخت فسیلی مسئله آلودگی هوا در آن‌هاست و مسئله محیط زیست و آلودگی هوا یکی از مهمترین چالش‌های نیروگاه‌های حرارتی است. این نوع نیروگاه‌ها محیط زیست اطراف را با آلودگی‌های گازی و آبی به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. آلودگی‌های گازی با جریان باد جابجا شده و موجب باران‌های اسیدی می‌شود. راهکارها در این زمینه کنترل شرایط احتراق در درجه اول و پس از آن تصفیه دود خروجی در جهت حفظ محیط زیست است. با کمک فناوری نانو و بکارگیری نانوسنسورها می‌توان هم شرایط احتراق و هم گازهای آلاینده خروجی و دیگر گازهای مورد استفاده را کنترل نمود. احتراق مخلوط شدن ماده سوختنی و اکسیژن هواست که باید به نسبت معین صورت گیرد و سپس واکنش سوختن رخ دهد. یکی از سنسورهای مهم در بخش کنترل احتراق حسگرهای اکسیژن است که در حسگرهای دود احتراق نیروگاهی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرد. اساس کار این حسگر بر مبنای اندازه‌گیری اختلاف میزان اکسیژن موجود در گاز خروجی از محفظه احتراق موتور و هوای محیط است که این شدت میزان اختلاف در درون سنسور اکسیژن سبب تولید ولتاژ می‌گردد. چنانچه اختلاط سوخت و هوا به هر دلیلی از حالت استاندارد خارج شود، سوخت ناقص می‌سوزد و باعث مصرف بیشتر انرژی و سوخت و کاهش انرژی تولیدی می‌شود. راه کنترل و اطلاع از نحوه سوختن، آزمایش و آنالیز گازهای خروجی احتراق توسط سنسورها است. با اندازه‌گیری گازهای مختلف در گاز خروجی می‌توان به شرایط احتراق پی‌برد و تمهیدات لازم برای احتراق کامل را تدارک دید. هر چه سنسور دقیق‌تر باشد و بتواند به صورت دائم اطلاعات کافی و دقیق و البته واقعی در اختیار اپراتور قرار دهد. در نتیجه نظارت و تصمیم‌گیری اپراتور صحیح‌تر بوده و باعث افزایش راندمان می‌شود. علاوه بر هوا و دود، کنترل آب و دیگر مواد سیال موجود در نیروگاه، فشار مخازن تحت فشار، نیروی اعمالی به قطعات حساس تحت تنش نیز به کنترل هر چه بیشتر جنبه‌های مختلف نیروگاه و کاهش خسارات احتمالی کمک می‌کند. برای نیل به این هدف باید از نانوسنسورها که حساسیت بالاتری دارند استفاده کرد. با استفاده از مواد نانوساختار می‌توان سنسورهای گازی بسیار دقیق‌تر و با قابلیت پاسخ سریع تولید کرد. همچنین با استفاده از نانو فیلترها می‌توان دود را تصفیه کرد و با استفاده از نانو کاتالیست‌ها مواد مضر دود را به مواد بی‌خطر تبدیل کرد و دود با آلودگی کمتری را وارد هوا کرد. همچنین می‌توان با استفاده از نانو ذراتی که خاصیت کاتالیستی دارند، مواد مضر دود را به مواد بی‌خطر تبدیل کرد و علاوه بر این می‌توان هوای ورودی به توربین را نیز فیلتر کرد. سیستم‌های تصفیه هوا با استفاده از ذرات نانومتری فوتوکاتالیست عمل می‌کنند. این سیستم‌ها دارای مواد چند منظوره‌ای هستند که باعث تصفیه هوا شده و برای حذف آلاینده‌هایی چون منوکسید کربن، بنزول، میکروب‌ها، غبار و... مفید هستند [24].

۱۴-۱-۳- فیلترهای نانوساختار

نانوفیلتراسیون فرآیند نوینی است که به علت کارایی در اختلاف فشار نسبتاً پایین، بازایی خوب و میزان دفع مناسب جایگاه ویژه‌ای را در زمینه جداسازی به خود اختصاص داده است. در زمینه تصفیه آب و پساب به دلیل استفاده از

غشاهای باردار می‌توان از این روش بهره گرفت. این فرآیند جایگزین مناسبی برای فرآیندهای اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس، تبادل یونی و آهک‌زدایی به شمار می‌رود.

نانوفیلتراسیون فرآیند غشایی جدیدی است که خواص جداسازی آن بین فرآیندهای اسمز معکوس و اولترافیلتراسیون می‌باشد. در اولترافیلتراسیون ذراتی از $0/1$ تا $0/01$ میلی متر قابل جدا شدن هستند، در حالیکه در نانوفیلتراسیون ذراتی با اندازه‌های $0/1$ تا $0/001$ میلی‌متر قابل جدا شدن هستند. خالص سازی با این فرآیند نیاز به مواد شیمیایی نداشته و از نظر اقتصادی به صرفه است. پساب تولیدی فشرده و غلیظ بوده، لذا هزینه حمل و نقل و دفع آن کمتر است. سیستم به تجهیزاتی به نام CIP مجهز است که به کمک آن غشاها بطور خودکار تمیزکاری می‌شوند.

در این فرآیند تصفیه بوسیله اعمال اختلاف فشاری در دو سمت یک غشاء، صورت می‌پذیرد و مولکولهای کوچک مورد نظر ورودی به غشاء از آن عبور می‌نمایند و جداسازی مولکولهای بزرگتر (روغن، گریس، سختی، ویروس، باکتری، ...) صورت می‌گیرد. به علت عمل نمودن در فشار پایین و بازیابی بیشتر، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در این فرآیند خیلی پایین تر از فرآیندهای مشابه است. همچنین هزینه پمپ، لوله و مخزن در فشار پایین کاهش چشمگیری داشته، لذا سرمایه‌گذاری کمتری نیاز دارد [25].

غشاهای نانوفیلتراسیون معمولاً از یک لایه بسیار نازک و یک لایه محافظ تشکیل شده‌اند. لایه نازک و متراکم عمل جداسازی را انجام می‌دهد و لایه محافظ باعث حفاظت غشا در مقابل فشار سیستم می‌شود. ضخامت لایه نازک و مقدار تخلخل آن مقدار شار عبوری را کنترل می‌کند. غشاهای نانوفیلتراسیون معمولاً در دو نوع باردار و غیر باردار موجودند. توان رقابت فرآیند نانوفیلتراسیون در برابر دیگر فرآیندها وقتی بارزتر می‌شود که از غشاهای نانوفیلتراسیون باردار در این فرآیند استفاده شود. جنس غشاهای غیر باردار معمولاً از پلیمرهایی نظیر استات سلولز و پلی آمید می‌باشد. جنس غشاهای باردار به نوع بار (مثبت، منفی و دو قطبی) بستگی دارد [26].

در صنعت بویلرهای تولید کننده بخار بمنظور حصول اطمینان از بهره‌برداری مناسب از سیستم تولید بخار، آب تغذیه با خلوص بالا مورد نیاز است. آب تغذیه با خلوص بالا موجب کاهش میزان مصرف مواد شیمیایی و در نتیجه کاهش دفعات بلودان^۱ (کاهش دفعات بلودان تا فاکتور ۱۰) مورد نیاز می‌شود. کاهش دفعات بلودان همچنین موجب کاهش مصرف سوخت خواهد شد. در این میان کاهش ناخالصی‌های موجود در آب تغذیه بویلر سبب کاهش تشکیل رسوب و تقلیل میزان ته نشینی مواد در سطوح انتقال حرارت خواهد گردید. علاوه پایین بودن میزان ناخالصی‌های آب سرعت خوردگی در بویلر را نیز کاهش می‌دهد. هنگامی که بویلرها برای به گردش در آوردن توربین بخار بکار روند خلوص بالای آب تغذیه در کاهش سایش پره‌های توربین نقش خواهد داشت. استفاده از اسمز معکوس در سیستم پالایش و خالص سازی آب تغذیه موجب کاهش دفعات احیاء رزینهای تبادل یونی و در نتیجه کاهش استفاده از مواد شیمیایی می‌شود. یک سیستم کامل تصفیه آب که شامل اسمز معکوس و تعویض یونی است، نوعاً موجب کاهش هزینه‌ها در مقایسه با سیستمی است که از اسمز معکوس استفاده نمی‌کند. ولی استفاده از سیستمهای اسمز معکوس متداول نیاز ضروری به استفاده از واحدهای پیش تصفیه آب دارند که خود پر هزینه می‌باشند.

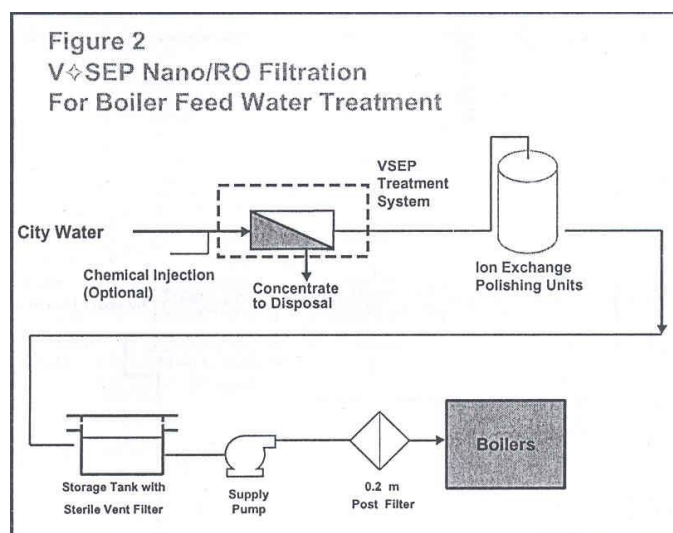
رسوبات سیلیکاتها و مواد کلئیدی کارایی بویلر را کاهش داده و موجب خرابی نابهنگام توربینها می‌شود. اولترافیلتراسیون می‌تواند سیلیس های کلئیدی و آهن و آلومینیوم غیر محلول را به میزان بیش از ۹۹ درصد جداسازی نماید. همچنین کاهش ذرات جامدات معلق و کربن آلی کل، کارایی بویلر و توربین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ولی در

¹ - Blowdown

استفاده از فناوری‌های غشایی متداول مشکلات اساسی در خصوص گرفتگی غشاها توسط مواد غیر محلول و قابل ته نشینی بروز می‌نماید.

برای تصفیه آب تغذیه بویلر، بسته به موارد نیاز آن، تعدادی از فرآیندها را می‌توان بکار برد که عبارتند از: تصفیه شیمیایی/کاربرد آهک، فیلتراسیون دوپل، جذب توسط کربن، غشاهای اسمز معکوس و پالایش نهایی به کمک رزینهای تبادل یونی. پساب قابل توجهی از عملیات مذکور تولید می‌گردد که می‌تواند شامل کربن مصرف شده و مواد شیمیایی مصرفی برای عملیات احیای رزینهای تبادل یونی باشند.

پیشرفتهای فناوریانه و فنی در سیستمهای فیلتراسیون غشایی این امکان را برای بویلرهای صنعتی و نیروگاهی فراهم نموده است که آب تغذیه بویلر را به منظور افزایش کارایی سیستم تصفیه نمایند. "فرآیند افزایش برش ارتعاشی ۱" یا VSEP این امکان را فراهم می‌کند که جریان آب گذر کرده از فیلتر یا پساب باقیمانده با مشکلات ته نشینی و رسوبی که معمولاً در غشاهای متداول مشاهده می‌شود روبرو نشوند. سیستم غشایی VSEP میزان TDS، TSS، رنگ، سیلیس و سختی جریان عبور کرده از غشاء را که ناشی از آب شهر، آب چاه و آبهای رودخانه یا آبهای سطحی می‌باشند را کاهش می‌دهد، لذا هزینه تصفیه را به حداقل می‌رساند. در سیستم تصفیه VSEP برای تصفیه آب عبور کرده از غشاء و به منظور تولید یک جریان مناسب برای شرایط آب تغذیه بویلر شامل غلظت جامدات معلق و محلول، سیلیس و سختی، از مدولهای غشاء اولترافیلتراسیون یا نانوفیلتراسیون/اسمز معکوس استفاده به عمل می‌آید. پس از تصفیه نهایی با رزینهای تبادل یونی، می‌توان محصول تولیدی را بعنوان آب تغذیه بویلر بکار برد. بطور خلاصه سیستم تصفیه VSEP را می‌توان برای تصفیه آب تغذیه بویلر به همراه یک پالایش نهایی کوچک توسط رزینهای تبادل یونی بکار برد. روش VSEP موجب حذف نیاز به پیش تصفیه می‌گردد و می‌تواند بطور قابل توجهی میزان مصرف مواد شیمیایی را برای احیاء رزینها کاهش دهد که در نتیجه آن هزینه‌ها کاهش می‌یابد. در شکل ۳-۶ یک سیستم تصفیه VSEP نشان داده شده است.



شکل ۳-۶- فیلتراسیون NF/RO در سیستم VSEP برای تصفیه آب بویلر [5]

VSEP یک سیستم غشایی می‌باشد که مزایای زیادی نسبت به سیستمهای قدیمی مثل سیستم افزودن مواد شیمیایی/ سیستمهای کلاریفایر دارد. برای بویلرهای صنعتی و نیروگاهی، می‌توان سیستمهای غشاء VSEP را بجای فناوری

¹ - Vibratory Shear Enhanced Process

غشایی جریان متقاطع قدیمی که با مشکل مسدود شدن غشا، روبرو بودند بکار برد. VSEP یک جایگزین مناسب برای روشهای فیلتراسیون قدیمی است [5].

فناوری جداسازی VSEP بگونه موفقیت آمیزی برای بسیاری از فرآیندهای صنعتی تأمین شده است. تلاش برای رساندن بویلرهای صنعتی و نیروگاهی همانند صنایع تولید همزمان برای رسیدن به محدوده کارایی مناسب و رعایت مقررات زیست محیطی با استفاده از فیلتراسیون غشایی به همراه VSEP صورت می‌پذیرد. پیشرفت و گسترش در جهت تهیه آب مورد نیاز بویلرهای صنعتی و نیروگاهی به همراه کاربرد مواد جدیدی برای غشاها و فناوری VSEP، این امکان را فراهم می‌آورد که جریانهای بسیار آلوده و سخت را با نتایجی موفقیت آمیز و اقتصادی تصفیه نماید. چنانچه اختلاط سوخت و هوا به هر دلیلی از حالت استاندارد خارج شود، سوخت ناقص می‌سوزد و باعث مصرف بیشتر انرژی و سوخت و کاهش انرژی تولید می‌شود. راه کنترل و اطلاع از نحوه سوختن، آزمایش و آنالیز گازهای خروجی احتراق است. با اندازه‌گیری گازهای مختلف در گاز خروجی می‌توان به شرایط احتراق پی برد و تمهیدات لازم برای احتراق کامل را تدارک دید. کنترل گازهای خروجی توسط سنسورها صورت می‌گیرد. هر چه سنسور دقیق‌تر باشد و بتواند به صورت دائم اطلاعات کافی و دقیق و البته واقعی در اختیار اپراتور قرار دهد نظارت و تصمیم‌گیری اپراتور صحیح‌تر بوده و باعث افزایش راندمان می‌شود. علاوه بر هوا و دود، کنترل آب و دیگر مواد سیال موجود در نیروگاه، فشار مخازن تحت فشار، نیروی اعمالی به قطعات حساس تحت تنش نیز به کنترل هر چه بیشتر جنبه‌های مختلف نیروگاه و کاهش خسارات احتمالی کمک می‌کند. براینیل به این هدف باید از نانوسنسورهای حساس استفاده کرد. با استفاده از نانوفناوری می‌توان سنسورهای گازی بسیار دقیق‌تر و با قابلیت پاسخ سریع تولید کرد. با استفاده از ذرات نانومتری در سنسورهای بخش نیروگاهی و به طور کلی با نانو ساختار کردن این سنسورها می‌توان به کنترل دقیق‌تر جنبه‌های مختلف نیروگاه دست یافت. مثلاً با استفاده از نانو سنسورهای تنش بر روی قطعات حساس می‌توان از بروز حوادث جلوگیری کرده و قبل از شکست یک قطعه از وضعیت تنش آن مطلع شد. مزایای این سنسورهای گاز، دقت فوق‌العاده به دلیل استفاده از مواد نانومتری، مقاومت به سایش، عمر طولانی، واقعی بودن مقادیر نشان داده شده و قیمت کم است [27].

۱۵-۱-۳- فیلترهای نانو ساختار تصفیه آب و پساب

در بویلرهای تولید کننده بخار نیروگاه های بخار و سیکل ترکیبی آب تغذیه با خلوص بسیار بالا مورد نیاز است. برای به حداقل رساندن خطر خوردگی لوله‌های دیگ بخار و رسوب‌های زیاد باقیمانده در سطح لوله‌ها و برای تهیه بخار لازم، می‌بایستی میزان رسوب در آب ورودی نیروگاه کنترل شود. این کنترل معمولاً توسط روش‌های، نصب واحد تصفیه مایعات به طور جزئی و یا کامل برای به حداقل رساندن ناخالصی‌های احتمالی خورنده موجود در آب ورودی، در صورت لزوم، تصفیه آب ورودی برای کنترل کردن رسوب ذرات معلق نامحلول و پایین بردن میزان آن‌ها، آب خروجی نیروگاه که حاوی مواد خطرناک برای محیط‌زیست است نیز باید تصفیه و سپس رها شود.

آب تغذیه با خلوص بالا موجب کاهش میزان مصرف مواد شیمیایی و در نتیجه کاهش دفعات بلودان^۱ و کاهش مصرف سوخت خواهد. در این میان کاهش ناخالصی‌های موجود در آب تغذیه بویلر سبب کاهش تشکیل رسوب و تقلیل میزان ته نشینی مواد در سطوح انتقال حرارت خواهد گردید. بعلاوه پایین بودن میزان ناخالصی‌های آب سرعت خوردگی در بویلر را نیز کاهش می‌دهد. هنگامی که بویلرها برای به گردش در آوردن توربین بخار بکار روند خلوص بالای آب تغذیه

¹ - Blowdown

در کاهش سایش پره‌های توربین نقش خواهد داشت. رسوبات سیلیکاتها و مواد کلئیدی کارایی بویلر را کاهش داده و موجب خرابی نابهنگام توربینها می‌شود. اولترافیلتراسیون می‌تواند سیلیس‌های کلئیدی و آهن و آلومینیوم غیر محلول را به میزان بیش از ۹۹ درصد جداسازی نماید. همچنین کاهش ذرات جامدات معلق و کربن آلی کل، کارایی بویلر و توربین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ولی در استفاده از تکنولوژی‌های غشایی متداول مشکلات اساسی در خصوص گرفتگی غشاها توسط مواد غیر محلول و قابل ته نشینی بروز می‌نماید. برای تصفیه آب تغذیه بویلر، بسته به موارد نیاز آن، تعدادی از فرایندها را می‌توان بکار برد که عبارتند از: تصفیه شیمیایی/کاربرد آهک، فیلتراسیون دوبل، جذب توسط کربن، غشاهای اسمز معکوس و پالایش نهایی به کمک رزینهای تبادل یونی. پساب قابل توجهی از عملیات مذکور تولید می‌گردد که می‌تواند شامل کربن مصرف شده و مواد شیمیایی مصرفی برای عملیات احیای رزینهای تبادل یونی باشند.

استفاده از اسمز معکوس در سیستم پالایش و خالص سازی آب تغذیه موجب کاهش دفعات احیاء رزینهای تبادل یونی و در نتیجه کاهش استفاده از مواد شیمیایی می‌شود. یک سیستم کامل تصفیه آب که شامل اسمز معکوس و تعویض یونی است، نوعاً موجب کاهش هزینه‌ها در مقایسه با سیستمی است که از اسمز معکوس استفاده نمی‌کند. ولی استفاده از سیستمهای اسمز معکوس متداول نیاز ضروری به استفاده از واحدهای پیش تصفیه آب دارند که خود پر هزینه می‌باشند.

نانوفیلتراسیون فرآیند غشایی جدیدی است که خواص جداسازی آن بین فرآیندهای اسمز معکوس و اولترافیلتراسیون می‌باشد. در اولترافیلتراسیون ذراتی از ۰/۱ تا ۰/۰۱ میلی متر قابل جدا شدن هستند، در حالیکه در نانوفیلتراسیون ذراتی با اندازه‌های ۰/۱ تا ۰/۰۰۱ میلی‌متر قابل جدا شدن هستند. نانوفیلتراسیون فرآیند نوینی است که به علت کارایی در اختلاف فشار نسبتاً پایین، بازیابی خوب و میزان دفع مناسب جایگاه ویژه‌ای را در زمینه جداسازی به خود اختصاص داده است. در زمینه تصفیه آب و پساب به دلیل استفاده از غشاهای باردار می‌توان از این روش بهره گرفت. این فرآیند جایگزین مناسبی برای فرآیندهای اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس، تبادل یونی و آهک‌زدایی به شمار می‌رود. خالص سازی با این فرآیند نیاز به مواد شیمیایی نداشته و از نظر اقتصادی به صرفه است. پساب تولیدی فشرده و غلیظ بوده، لذا هزینه حمل و نقل و دفع آن کمتر است. سیستم به تجهیزاتی به نام CIP مجهز است که به کمک آن غشاها بطور خودکار تمیزکاری می‌شوند. در این فرآیند تصفیه بوسیله اعمال اختلاف فشاری در دو سمت یک غشاء، صورت می‌پذیرد و مولکولهای کوچک مورد نظر ورودی به غشاء از آن عبور می‌نمایند و جداسازی مولکولهای بزرگتر (روغن، گریس، سختی، ویروس، باکتری، ...) صورت می‌گیرد. به علت عمل نمودن در فشار پایین و بازیابی بیشتر، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در این فرآیند خیلی پایین تر از فرآیندهای مشابه است. همچنین هزینه پمپ، لوله و مخزن در فشار پایین کاهش چشمگیری داشته، لذا سرمایه‌گذاری کمتری نیاز دارد [28].

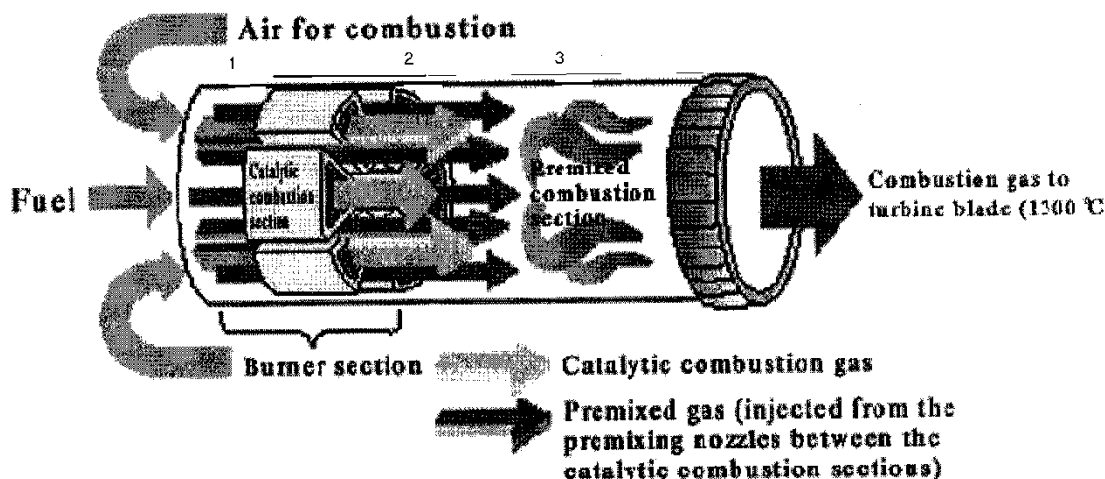
۱۶-۱-۳ - کاتالیست‌های نانو ساختار مورد استفاده در محفظه احتراق توربین‌های گازی

نیروگاههای حرارتی از جمله صنایعی هستند که بیش از یک سوم سوخت تولیدی در جهان را مصرف می‌کنند و آلاینده‌های دفع شده در اثر احتراق این سوخت‌های فسیلی چه به صورت دود و چه به صورت پساب، اثر مهمی بر محیط زیست بر جا می‌گذارند. از مهمترین گازهای آلاینده خروجی از دود کش نیروگاهها، ترکیبات اکسید ازت (NOX ها) هستند که اثرات نامطلوبی بر محیط زیست، سلامت انسانها و منابع آبی می‌گذارند. این آلاینده عامل مهم بیماریهای تنفسی و کاهش دهنده مقاومت بدن در برابر بیماریهای عفونی است. همچنین ترکیبات اکسیدازت علاوه بر اینکه از مهمترین عوامل سوراخ کننده لایه ازن هستند، می‌توانند با اکسیژن هوا، واکنش داده، در بارانهای اسیدی، اسید

نیتریک بسازند [29]. دیگر آلاینده‌های مهم نیروگاهی، گازهای متان و بعضی از آلکانها (مثل اتان، پروپان و بوتان) هستند. تأثیر شدید متان در پدیده گلخانه‌ای شدن (بیشتر از ۱۰ برار CO_2)، کنترل میزان متان خروجی از نیروگاههای گازی و صنایع نفتی را بسیار ضروری می‌سازد. در میان راههای متفاوت کاهش این آلاینده‌ها، یکی از راهها، استفاده از کاتالیست‌ها و عوامل احیا کننده برای تبدیل و تجزیه این آلاینده‌هاست. استفاده از کاتالیست در احتراق متان در توربین‌های گازی، علاوه بر تجزیه ترکیبات NOX ، باعث کمتر شدن دمای کاری توربین (در مقایسه با توربینهای گاز سوز معمولی) و کم شدن میزان NOX خروجی (به لحاظ ترمودینامیکی) می‌شود و این مسئله در وضعیت کنونی کشور که اکثر نیروگاهها در حال گاز سوز شدن هستند، از اهمیت بسزایی برخوردار است [30]. همچنین علاوه بر متان، آلکانها و ترکیبات NOX می‌توان از ترکیبات SOX ، CO_2 و CO نیز به عنوان آلاینده‌هایی مهم، نام برد که برخی از این ترکیبات مثل SO_3 علاوه بر مساله آلوده کنندگی محیط، عامل کاهش راندمان نیروگاه و از بین رفتن بخش مهمی از انرژی هستند. در اینجا نیز استفاده از کاتالیست‌ها از مهمترین گزینه‌های پیش رو برای بازگرداندن راندمان، به راندمانی بالاست.

در یک سیستم احتراق معمولی، سوخت و هوای فشرده با یکدیگر مخلوط می‌شوند و با شعله می‌سوزند و گازهای داغ منبسط شده، توربین را به حرکت در می‌آورند. دمای این گاز هنگام ورود به توربین به ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، اما در حوالی شعله، به ۱۸۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد که باعث تشکیل ترکیبات NOX می‌شود، ولی محفظه احتراق کاتالیستی بدون شعله است و در آن سوخت و هوا قبل از رفتن به روی کاتالیست، کاملاً با یکدیگر مخلوط می‌شوند (ناحیه ۱ شکل ۳-۷).

گاز حاصل، سپس وارد ناحیه احتراق کاتالیستی می‌شود (ناحیه ۲) و از روی سطح کاتالیستها در ناحیه احتراق، عبور می‌کنند (ساختار هندسی این کاتالیست‌ها، در بخش بعد آمده است) این کاتالیست‌ها، باعث می‌شوند که دمای احتراق، کم شود (تا حدود $1000^{\circ}C$) و دمای بالایی در حد $1800^{\circ}C$ (بخاطر نبودن شعله مستقیم) نیز وجود نداشته باشد و ترکیبات NOX ایجاد شده به حداقل برسند. سپس در ناحیه ۳، گاز عبور کرده از روی کاتالیست با گاز Premixed (که از نازل‌هایی که در بین بخشهای احتراق کاتالیستی تعبیه شده اند می‌ریزد)، مخلوط می‌شود و برای رسیدن به دمای مورد نیاز، می‌سوزند. دمای گازهای خروجی از محفظه احتراق به $1100-1500^{\circ}C$ می‌رسد. در برخی مواقع، اگر دمای گاز و رودی خیلی کم باشد برای فعال کردن کاتالیست، در محفظه‌های احتراق کاتالیستی، از یک پیش سوزنده (Pre – Burner) و یا یک تزریق کننده سوخت استفاده می‌شود [31].



شکل ۳-۷- ساختار شماتیک محفظه احتراق کاتالیستی [31]

امروزه با توسعه روشهای نوین ساخت مواد، به ویژه روشهای ساخت مواد در ابعاد نانومتر، زمینه های بکارگیری این مواد، گسترش قابل توجهی یافته‌اند. از جمله زمینه های مورد توجه برای به کارگیری مواد نانو ساختار، کاتالیست‌های به کار رفته در محفظه احتراق توربین های گاز سوز نیروگاههاست. تحقیقات پژوهشگران بالاتفاق، خبر از بهبود قابل توجه خواص کاتالیستی با ریزتر شدن ابعاد ذرات کاتالیستها می‌دهد.

کاتالیست های احتراق معمولاً از دو بخش تشکیل می‌شوند. بخش فعال ذرات کاتالیستی و یک بخش حامل (Suport/Substrate). بسته به نوع ذرات فعال، کاتالیست ها به انواع زیر تقسیم می شوند [32]:

کاتالیست‌های نانو ساختار فلزات نجیب از جمله Au , Rh , Pt , Pd

کاتالیست‌های نانو ساختار اکسیدهای فلزات انتقالی از جمله Cr , Mn , Co , Cu

کاتالیست‌های پروسکایت‌های نانو ساختار مانند $\text{LaMnO}_3/\text{MgO}$

کاتالیست‌های زیرکونیایی تقویت شده با فلزات انتقالی مثل Mn

کاتالیست‌های پایه هگزاآلومیناتی از جمله هگزاآلومینات باریم نانو ساختار جایگزین شده با Cu و Mn

۱۷-۱-۳- نانو سنسورها (سیستم پایش)

نانو سنسور ها یکی از این تکنولوژی های مدرن هستند که قادر به شناسایی و ارائه پاسخ به محرک های فیزیکی در مقیاس یک نانومتر می باشند. سنسورها از نوع نانوتیوب های تک لایه ای، به ضخامت یک نانومتر توانایی جذب مولکول های گازی سمی را دارند، آن ها همچنین قادرند به شناسایی تعدادی از مولکول های گازی مهلک در محیط پردازند. این در حالی است که هشدار دهنده های موجود در صنعت اغلب بسیار دیر موفق به شناسایی گازهای ناشی می شوند. محققان مدعی هستند که این سنسورها برای شناسایی به هنگام گازهای بیوشیمیایی جنگ، آلاینده های هوا و حتی ملکول های آلی در فضا کاربرد خواهند داشت. نانو سنسورهای ریزی نیز وجود دارند که از ذرات بسیار ریز سیکلون ساخته شده اند. با اختراع اولین نمونه های غبار هوشمند، استفاده از این نانو سنسور ها برای کاربردهای علمی محقق شد. هدف اصلی از ساخت غبارهای هوشمند تولید مجموعه ای از سنسورهای پیشرفته به صورت نانو رایانه های بسیار

سبک است. این نانو سنسورها به راحتی ساعت‌ها در هوا معلق می‌مانند و می‌توانند از طریق بی‌سیم موجود در خود اطلاعات جمع‌آوری شده را به یک پایگاه مرکزی ارسال کنند. سرعت انتقال اطلاعات در نمونه‌های اولیه حدود یک کیلو بایت در ثانیه است [29].

۱۸-۱-۳ - سنسورهای اولتراسونیک نیروگاهی با استفاده از مواد پیزوالکتریک نانوساختار

از جمله سنسورهای پرمصرف در صنعت برق، سنسورهایی هستند که از فن‌آوری اولتراسونیک برای اندازه‌گیری‌های مربوطه استفاده می‌کنند. از این قبیل می‌توان به جریان سنج‌های اولتراسونیک و سطح‌سنج‌های اولتراسونیک اشاره کرد. در هر دوی موارد اشاره شده، ابتدا یک مبدل پیزوالکتریک یک موج فراصوتی تولید می‌کند که بسته به کاربرد، در محیط مایع یا گاز حرکت کرده و از طریق انعکاس یا عبور به همان مبدل یا مبدل دیگری که وظیفه دریافت موج را برعهده دارد، می‌رسد. موج عبوری یا انعکاسی در این قسمت مجدداً به سیگنال تبدیل شده و برای پردازش به قسمت الکترونیکی سنسور فرستاده می‌شود.

شایان ذکر است که برای کاربردهای جریان‌سنجی و سطح‌سنجی از روش‌های گوناگونی می‌توان استفاده کرد که در این کاربردها با افزایش قیمت، دقت نیز افزایش می‌یابد. در این بین فن‌آوری اولتراسونیک از نظر قیمت در محدوده میانی و از نظر دقت در سطح بالایی قرار دارد. از این رو کاربرد گسترده‌ای در نیروگاه‌ها دارد. این در حالی است که با توجه به کارکرد مناسب قطعات پیزوالکتریک و مجموعه سنسورهای اولتراسونیک، استفاده از این تجهیزات رو به گسترش بوده و در طرح توسعه و اتوماسیون نیروگاه‌های قدیمی نیز قرار دارد.

از دیگر کاربردهای سنسورهای اولتراسونیک کنترل تجهیزات غیر قابل دسترسی و یا تجهیزاتی که نزدیک شدن به آنها خطرناک است و همچنین در مواردی که آزمایش‌های غیرمخرب مورد نیاز است، استفاده می‌شود. بعنوان مثال می‌توان به استفاده از این وسایل در ارزیابی جوش لوله‌های نیروگاه‌ها، بدون نیاز به متوقف کردن فعالیت واحد مربوطه اشاره کرد.

ورود فناوری نانو به عرصه پیزوالکتریک‌ها با گسترش استفاده از لایه‌های نازک پیزوالکتریک و کاربرد آن به عنوان جزئی از سیستم‌های سنسور یکپارچه همراه بوده است. کاربرد نانو فناوری در ساخت سنسورها نیز بسیار گسترده است که مزیت آن در ریز بودن، دقت بالا، کاهش اتلاف و نویز، عدم نیاز به تخریب قطعه برای جایگذاری سنسور، قابلیت پردازش و آنالیز و امکان بررسی پارامترهای فیزیکی به صورت نقطه به نقطه و بازرسی دقیق است.

در این میان استفاده از سرامیک‌های پیزوالکتریک PZT به عنوان قلب سنسورهای اولتراسونیک در صنعت نیروگاهی مطرح است که با تهیه نانوپودر آنها امکان ساخت قطعات پیزوالکتریک با خواص مطلوب‌تر و پارامترهای دی‌الکتریکی، پیزوالکتریکی و حتی خواص فیزیکی بهتر و کنترل شده‌تر به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین کاربردهای نانوفناوری در صنعت برق و مبنای کار بسیاری از تحقیقات دانشگاهی مطرح آمریکا وجود دارد [30].

۱۹-۱-۳ - جایگزینی آلیاژهای متداول با نانوکامپوزیت‌ها و آلیاژهای نانوکریستال

قطعات زیادی در نیروگاه تحت شرایط بحرانی دما، فشار و تنش‌های بالا قرار دارند، استفاده از موادی با خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی بهتر می‌تواند هزینه‌های تولید و نگهداری و در نتیجه هزینه‌های تولید انرژی را کاهش دهد. از

جمله این قطعات، قطعات متحرک توربین و ژنراتور، محورهای دوران است. در مورد آلیاژهای فلزی، بیشتر از فولادهای پر کرم و سوپرآلیاژهای در قطعات مختلف استفاده می‌شود. بطور مثال در پره‌های متحرک آلیاژهای نظیر IN738LC و GTD111، در پره‌های ثابت آلیاژهای FSX414 و GTD222 در محفظه احتراق Nimonic263 و Hastelloy X، در پره‌های کمپرسور AISI 403 و GTD450 و انواع دیگری از فولاد های آلیاژی، فولاد های زنگ نزن و سوپر آلیاژهای پایه نیکل بکار گرفته می‌شوند. فناوری نانو با استفاده از نانو ساختار کردن فلزات حجیم توانسته است مواد فلزی جدید با خواص بهینه‌تر تولید کند. از جمله این موارد استفاده از روش نانو ساختار کردن فلزات به وسیله تغییر شکل پلاستیکی شدید و عملیات حرارتی بعد از آن می‌باشد که منجر به بالا رفتن شدید استحکام، سختی، مقاومت به سایش و رفتار خستگی می‌شود. البته در این مورد باید افت برخی دیگر از خواص با ریزدانه شدن آلیاژها را نظیر افت خواص خزشی نیز مد نظر قرار داد. از دیگر راهکارهای فناوری نانو در ارتباط با بهبود خواص آلیاژها، استفاده از نانوکامپوزیت‌های زمینه فلزی است که جهت نیل به استحکام بالا و یا خواص حرارتی خوب ساخته می‌شود. از جمله این موارد پره توربین است. شرکت Metalicum اولین شرکت در دنیا است که روی توسعه و تجاری‌سازی آلیاژها و فولادهای نانو ساختار متمرکز شده است. شرکت NanoSteels در آمریکا نیز شرکت دیگری است که در تولید فولادهای نانو ساختار فعالیت دارد. عمده فعالیت این شرکت، تولید محصولات فلزی با ساختار نانومتری است که قابل استفاده به صورت تجاری باشند. این شرکت ورقه‌های فولادی مختلف با ساختار نانو تهیه می‌کند. علاوه بر این، این شرکت موفق به ساخت آلیاژی موسوم به Super Hard Steel شده است که تفاوت چشم‌گیری از لحاظ خواص استحکامی و مقاومت فیزیکی با آلیاژهای مرسوم دارد Nanomat نیز نام مجموعه‌ای آلمانی از انستیتوهای تحقیقاتی است که روی سنتز و تولید سرامیک‌ها و فلزات نانوساختار فعالیت می‌کند.

رویکرد دیگر بکارگیری نانوکامپوزیت های زمینه سرامیکی و جایگزینی آن با بسیاری از آلیاژهای فلزی نظیر پره های توربین، شرا و ... است که بدین ترتیب می‌توان پایداری حرارتی و مکانیکی را تا حد بسیار بالایی افزایش داد و لزوم اعمال پوشش های سد حرارتی بر روی فلزات را نیز برطرف نمود.

۲-۳- استفاده از فناوری نانو در مواد و تجهیزات نیروگاه‌ها و خط و پست

جدول ۳-۵- پروژه‌های مربوط به اقدامات فنی توسعه فناوری نانو در صنعت برق به همراه سطح آمادگی فناوری آن‌ها

۱- استفاده از فناوری نانو در مواد و تجهیزات نیروگاه‌ها		
۱-۱- نانوپوشش‌ها در مواد و تجهیزات نیروگاه‌ها		
۱-۱-۱- نانوپوشش‌های سد حرارتی در پره توربین، نازل، محفظه احتراق توربین گازی و قطعات دما بالا		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف-	امکان سنجی استفاده از نانوپوشش‌های سد حرارتی در پره توربین، نازل و محفظه احتراق توربین گازی و قطعات دما بالا	

۱	امکان‌سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از استفاده از نانو پوشش‌های EBC در نانو پوشش‌های سد حرارتی	۲
۲	امکان‌سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از استفاده از نانو مواد جدید در نانو پوشش‌های سد حرارتی	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های سد حرارتی در پره توربین، نازل، محفظه احتراق توربین گازی و قطعات دما بالا		
۳	دستیابی به دانش فنی ساخت پوشش‌های سد حرارتی نانو ساختار بر پایه YSZ	۳
۴	تولید پوشش‌های سد حرارتی نانو ساختار بر پایه YSZ به روش اکسیداسیون الکترولیتی پلاسمایی (PEO)	۴
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش‌های سد حرارتی در پره توربین، نازل، محفظه احتراق توربین گازی و قطعات دما بالا		
۵	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری از نانو پوشش‌های سد حرارتی در پره توربین، نازل و محفظه احتراق توربین گازی	۷
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش‌های سد حرارتی در پره توربین، نازل، محفظه احتراق توربین گازی و قطعات دما بالا		
۶	توسعه دانش فنی تولید پودر YSZ و انتخاب بهینه‌ترین روش برای تولید	۸
۱-۱-۲- نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش در پره کمپرسور، پره توربین بخار و قطعات تحت فرسایش		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان‌سنجی استفاده از نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش در پره کمپرسور، پره توربین بخار و قطعات تحت فرسایش		
۱	امکان‌سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانو مواد جدید در نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش در پره کمپرسور، پره توربین بخار و قطعات تحت فرسایش		
۲	توسعه دانش فنی فرایند پوشش‌دهی با استفاده از مواد آلیاژی نیتریدی نانو ساختار بر پایه تیتانیوم بر روی پره توربین بخار با استفاده از تکنولوژی رسوبگذاری فیزیکی از فاز بخار (PVD)	۵
۳	تدوین دانش فنی ساخت پوشش‌های کامپوزیتی نانو ساختار مورد استفاده بر روی پره‌های کمپرسور	۴
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش در پره کمپرسور، پره توربین بخار و قطعات تحت فرسایش		
۴	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری از نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش	۶

د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش در پره کمپرسور، پره توربین بخار و قطعات تحت فرسایش		
۵	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش	۸
۳-۱-۱- نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی در لوله‌های بویلر و اجزای تحت تخریب		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی در لوله‌های بویلر و اجزای تحت تخریب		
۱	امکان سنجی ساخت پوشش‌های نانو ساختار برای جلوگیری از خوردگی لوله‌های بویلر	۲
۲	امکان سنجی ساخت نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی مورد استفاده در ژانگسترم	۲
۳	امکان سنجی ساخت نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی مورد استفاده در لوله‌ها انتقال و مخازن سوخت	۲
۴	امکان سنجی ساخت نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی مورد استفاده در دودکش نیروگاه‌های بخاری	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی در لوله‌های بویلر و اجزای تحت تخریب		
۵	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی در لوله‌های بویلر	۵
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی در لوله‌های بویلر و اجزای تحت تخریب		
۶	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری از نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی در لوله‌های بویلر	۷
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی در لوله‌های بویلر و اجزای تحت تخریب		
۷	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش‌های مقاوم به خوردگی در لوله‌های بویلر	۹
۴-۱-۱- نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش و خوردگی پره‌های پمپ و شیرآلات		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش و خوردگی پره‌های پمپ و شیرآلات		
۱	امکان سنجی ساخت پوشش‌های نانو ساختار برای جلوگیری از سایش و خوردگی قطعات پمپ و شیرآلات	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش و خوردگی پره‌های پمپ و شیرآلات		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش و خوردگی پره‌های پمپ و شیرآلات	۴

ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش و خوردگی پره‌های پمپ و شیرآلات		
۳	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری از نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش و خوردگی پره‌های پمپ و شیرآلات	۶
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش و خوردگی پره‌های پمپ و شیرآلات		
۴	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش‌های مقاوم به فرسایش و خوردگی پره‌های پمپ و شیرآلات	۸
۵-۱-۱- نانو پوشش‌های با انتقال حرارت بالا و خود تمیز شونده برای افزایش راندمان سیستم‌های مبدل حرارتی		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان‌سنجی استفاده از نانو پوشش‌های با انتقال حرارت بالا و خود تمیز شونده در سیستم‌های مبدل حرارتی		
۱	امکان‌سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانو پوشش‌های با انتقال حرارت بالا و خود تمیز شونده در سیستم‌های مبدل حرارتی	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های با انتقال حرارت بالا و خود تمیز شونده در سیستم‌های مبدل حرارتی		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های با انتقال حرارت بالا و خود تمیز شونده در سیستم‌های مبدل حرارتی	۵
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش‌های با انتقال حرارت بالا و خود تمیز شونده در سیستم‌های مبدل حرارتی		
۳	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری از نانو پوشش‌های با انتقال حرارت بالا و خود تمیز شونده در سیستم‌های مبدل حرارتی	۷
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش‌های با انتقال حرارت بالا و خود تمیز شونده در سیستم‌های مبدل حرارتی		
۴	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش‌های با انتقال حرارت بالا و خود تمیز شونده در سیستم‌های مبدل حرارتی	۹
۶-۱-۱- نانو پوشش‌های عایقی برای جلوگیری از اتلاف حرارت در توربین، لوله‌ها و اجزای انتقال بخار و گرما		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان‌سنجی استفاده از نانو پوشش‌های عایقی برای جلوگیری از اتلاف حرارت در توربین، لوله‌ها و اجزای انتقال بخار و گرم		
۱	امکان‌سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانو پوشش‌های عایقی برای جلوگیری از اتلاف حرارت در توربین و لوله‌های انتقال بخار	۲

ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های عایقی برای جلوگیری از اتلاف حرارت در توربین، لوله‌ها و اجزای انتقال بخار و گرما		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های عایقی برای جلوگیری از اتلاف حرارت در توربین و لوله‌های انتقال بخار	۵
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش‌های عایقی برای جلوگیری از اتلاف حرارت در توربین، لوله‌ها و اجزای انتقال بخار و گرما		
۳	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری از نانو پوشش‌های عایقی برای جلوگیری از اتلاف حرارت در توربین و لوله‌های انتقال بخار	۷
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش‌های عایقی برای جلوگیری از اتلاف حرارت در توربین، لوله‌ها و اجزای انتقال بخار و گرما		
۴	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش‌های عایقی برای جلوگیری از اتلاف حرارت در توربین و لوله‌های انتقال بخار	۹
۱-۲- نانوافزودنی‌ها در مواد و تجهیزات نیروگاه‌ها		
۱-۲-۱- نانوافزودنی‌های بهبود دهنده عملکرد سیالات مبدل حرارتی و کنترل شیمیایی سیکل آب و بخار		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان‌سنجی استفاده از نانوافزودنی‌های بهبود دهنده عملکرد سیالات مبدل حرارتی و کنترل شیمیایی سیکل آب و بخار		
۱	امکان‌سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانوافزودنی‌های جدید بهبود دهنده عملکرد سیالات مبدل حرارتی	۲
۲	امکان‌سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانوافزودنی‌های کنترل شیمیایی سیکل آب و بخار نیروگاه‌های بخاری برای حذف اکسیژن و رسوب	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانوافزودنی‌های بهبود دهنده عملکرد سیالات مبدل حرارتی و کنترل شیمیایی سیکل آب و بخار		
۳	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد نانوساختار مورد استفاده در آب‌برج‌های خنک‌کن	۴
ج- دستورالعمل استفاده از نانوافزودنی‌های بهبود دهنده عملکرد سیالات مبدل حرارتی و کنترل شیمیایی سیکل آب و بخار		
۴	تدوین دستورالعمل برای استفاده از نانوسیالات خنک‌کننده نیروگاهی	۶

د- تولید نیمه صنعتی نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد سیالات مبدل حرارتی و کنترل شیمیایی سیکل آب و بخار		
۵	تولید نیمه صنعتی نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد سیالات مبدل حرارتی	۸
۲-۲-۱- نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد روغن های روانکار		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد روغن های روانکار		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانوافزودنی های جدید بهبود دهنده عملکرد روغن های روانکار	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد روغن های روانکار		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد افزودنی نانوساختار برای روانکارهای مورد استفاده در نیروگاه‌ها به منظور افزایش راندمان	۴
۳	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو سیالات به عنوان روغن‌های انتقال حرارت	۵
ج- دستورالعمل استفاده از نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد روغن های روانکار		
۴	تدوین دستورالعمل ارزیابی و بهره برداری از نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد روغن های روانکار	۶
د- تولید نیمه صنعتی نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد روغن های روانکار		
۵	تولید نیمه صنعتی نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد روغن های روانکار	۸
۳-۲-۱- نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد سوخت		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد سوخت		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانوافزودنی های جدید بهبود دهنده عملکرد سوخت(افزایش راندمان، کاهش خوردگی و کاهش آلایندگی)	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد سوخت		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد افزودنی نانوساختار به منظور صرفه‌جویی در مصرف سوخت نیروگاه‌ها	۵
۳	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد افزودنی نانوساختار سوخت به منظور کاهش اثر خوردگی گاز های خروجی در تجهیزات بویلر بازافت	۵

ج- دستورالعمل استفاده از نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد سوخت		
۴	تدوین دستورالعمل ارزیابی و بهره برداری از نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد سوخت	۷
د- تولید نیمه صنعتی نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد سوخت		
۵	تولید نیمه صنعتی نانوافزودنی های بهبود دهنده عملکرد سوخت	۹
۳-۱- نانساختار ها در قطعات و تجهیزات نیروگاه‌ها		
۳-۱-۱- نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی	۵
ج- دستورالعمل استفاده از نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی		
۳	تدوین دستورالعمل نانوفیلترهای هوای ورودی توربین‌های به کار رفته در نیروگاه‌ها	۷
د- تولید نیمه صنعتی نانوفیلترهای هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی		
۴	دستیابی به دانش فنی تولید مدیای فیلترها/ نانوفیلترهای هوای نیروگاهی	۹
۳-۲- تصفیه کننده های آب و پساب بوسیله فناوری نانو		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از تصفیه کننده های آب و پساب بوسیله فناوری نانو		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از روش های جدید تصفیه کننده های آب و پساب بوسیله فناوری نانو	۲
۲	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از فرآیند نانوکاویتاسیون در تصفیه آب و پساب	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت تصفیه کننده های آب و پساب بوسیله فناوری نانو		

۳	حذف فلزات سنگین از پساب نیروگاه تولید برق به کمک نانوجاذب‌های سرامیکی	۴
۴	تولید و بررسی غشاهای نانوساختار حاوی نانوذرات سرامیکی جهت حذف انتخابی آلاینده از پساب‌های نیروگاهی	۴
۵	طراحی و ساخت پایلوت پکیج پرتابل تصفیه پساب بر پایه نانورس و غشاهای نانوساختار جهت استفاده در تصفیه پساب صنعتی نیروگاه‌ها	۵
۶	تدوین دانش فنی ساخت فیلتر ها و غشاهای نانو ساختار بر پایه نانو لوله های کربنی	۵
۷	توسعه دانش فنی فرآیند نانو کایتاسیون در تصفیه آب و پساب نیروگاهی	۴
ج- دستورالعمل استفاده از تصفیه کننده های آب و پساب بوسیله فناوری نانو		
۸	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری از تصفیه کننده های آب و پساب بوسیله فناوری نانو	۷
د- تولید نیمه صنعتی تصفیه کننده های آب و پساب بوسیله فناوری نانو		
۹	تولید نیمه صنعتی تصفیه کننده های آب و پساب بوسیله فناوری نانو	۹
۳-۳-۱- سیستم های کاهش دهنده گازهای آلاینده نیروگاه با فناوری نانو		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از مواد و سیستم های جدید کاهش دهنده گازهای آلاینده نیروگاه با فناوری نانو		
۱	امکان سنجی استفاده از سیستم های تبدیل گاز آلاینده نیروگاهی به ترکیبات با ارزش افزوده بالا	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت سیستم های کاهش دهنده گازهای آلاینده نیروگاه با فناوری نانو		
۲	حذف گاز CO ₂ و NO _x از چرخه تولید در نیروگاه‌های تولید برق به کمک نانوجاذب‌های معدنی	۴
۳	تدوین دانش فنی کاتالیزور نانوساختار جهت کاهش آلاینده‌های گازی از دودکش نیروگاه‌ها	۵
۴	تدوین دانش فنی ساخت کاتالیست های نانو ساختار سنتز متانول با استفاده از گاز CO ₂ خروجی نیروگاه ها	۴
۵	دستیابی به دانش فنی ساخت کاتالیست‌های نانوساختار سوخت مورد استفاده در محفظه احتراق توربین‌های گازی	۴
۶	دستیابی به دانش فنی تبدیل خاکستر ناشی از احتراق سوخت به ترکیبات ارزشمند با استفاده از فناوری نانو	۵

ج- دستورالعمل استفاده از سیستم های کاهش دهنده گازهای آلاینده نیروگاه با فناوری نانو		
۷	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری از سیستم های کاهش دهنده گازهای آلاینده نیروگاه با فناوری نانو	۶
د- تولید نیمه صنعتی سیستم های کاهش دهنده گازهای آلاینده نیروگاه با فناوری نانو		
۸	تولید نیمه صنعتی سیستم های کاهش دهنده گازهای آلاینده نیروگاه با فناوری نانو	۹
۴-۳-۱- مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در تجهیزات نیروگاهی		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در تجهیزات نیروگاهی		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در تجهیزات نیروگاهی	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در تجهیزات نیروگاهی		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در تجهیزات نیروگاهی	۴
ج- دستورالعمل استفاده از مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در تجهیزات نیروگاهی		
۳	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری از مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در تجهیزات نیروگاهی	۷
د- تولید نیمه صنعتی مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در تجهیزات نیروگاهی		
۴	تولید نیمه صنعتی مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در تجهیزات نیروگاهی	۹
۵-۳-۱- جایگزینی مواد و آلیاژهای سازه ای متداول با مواد نانو ساختار در قطعات و تجهیزات نیروگاهی		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی جایگزینی مواد و آلیاژهای سازه ای متداول با مواد نانو ساختار در قطعات و تجهیزات نیروگاهی		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی جایگزینی مواد و آلیاژهای سازه ای متداول با مواد نانو ساختار در قطعات و تجهیزات نیروگاهی	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت مواد نانو ساختار سازه ای در قطعات و تجهیزات نیروگاهی		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد مغناطیسی نانوساختار مورد استفاده در تجهیزات نیروگاهی	۵

ج- دستورالعمل استفاده از مواد نانو ساختار سازه ای در قطعات و تجهیزات نیروگاهی		
۳	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری از مواد نانو ساختار سازه ای در قطعات و تجهیزات نیروگاهی	۶
د- تولید نیمه صنعتی مواد نانو ساختار سازه ای در قطعات و تجهیزات نیروگاهی		
۴	تولید نیمه صنعتی مواد نانو ساختار سازه ای در قطعات و تجهیزات نیروگاهی	۹
۶-۳-۱- حسگرهای نیروگاهی با استفاده از مواد نانوساختار		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از حسگرهای نیروگاهی با استفاده از مواد نانوساختار		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی سنجی استفاده از حسگرهای نیروگاهی با استفاده از مواد نانوساختار	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت حسگرهای نیروگاهی با استفاده از مواد نانوساختار		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت حسگرهای نیروگاهی با استفاده از مواد نانوساختار	۴
ج- دستورالعمل استفاده از حسگرهای نیروگاهی با استفاده از مواد نانوساختار		
۳	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری از حسگرهای نیروگاهی با استفاده از مواد نانوساختار	۶
د- تولید نیمه صنعتی حسگرهای نیروگاهی با استفاده از مواد نانوساختار		
۴	تولید نیمه صنعتی حسگرهای نیروگاهی با استفاده از مواد نانوساختار	۹
۷-۳-۱- مولد های ترموالکتریک نانوساختار برای استفاده از حرارت تلف شده		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از مولد های ترموالکتریک نانوساختار برای استفاده از حرارت تلف شده		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی سنجی استفاده از مولد های ترموالکتریک نانوساختار برای استفاده از حرارت تلف شده	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت مولد های ترموالکتریک نانوساختار برای استفاده از حرارت تلف شده		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت مولد های ترموالکتریک نانوساختار برای استفاده از حرارت تلف شده	۵

ج- دستورالعمل استفاده از مولد های ترموالکتریک نانوساختار برای استفاده از حرارت تلف شده		
۳	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری از مولد های ترموالکتریک نانوساختار برای استفاده از حرارت تلف شده	۶
د- تولید نیمه صنعتی مولد های ترموالکتریک نانوساختار برای استفاده از حرارت تلف شده		
۴	تولید نیمه صنعتی مولد های ترموالکتریک نانوساختار برای استفاده از حرارت تلف شده	۹
۸-۳-۱- آجرهای نسوز، مواد دیرگداز و عایق های حرارتی نانوساختار در محفظه احتراق توربین و دودکش		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از آجرهای نسوز، مواد دیرگداز و عایق های حرارتی نانوساختار در محفظه احتراق توربین و دودکش		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی سنجی استفاده از آجرهای نسوز، مواد دیرگداز و عایق های حرارتی نانوساختار در محفظه احتراق توربین و دودکش	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت آجرهای نسوز، مواد دیرگداز و عایق های حرارتی نانوساختار در محفظه احتراق توربین و دودکش		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت آجرهای نسوز، مواد دیرگداز و عایق های حرارتی نانوساختار در محفظه احتراق توربین و دودکش	۳
ج- دستورالعمل استفاده از آجرهای نسوز، مواد دیرگداز و عایق های حرارتی نانوساختار در محفظه احتراق توربین و دودکش		
۳	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری از آجرهای نسوز، مواد دیرگداز و عایق های حرارتی نانوساختار در محفظه احتراق توربین و دودکش	۶
د- تولید نیمه صنعتی آجرهای نسوز، مواد دیرگداز و عایق های حرارتی نانوساختار در محفظه احتراق توربین و دودکش		
۴	تولید نیمه صنعتی آجرهای نسوز و مواد دیرگداز نانوساختار در محفظه احتراق توربین	۸
۲- استفاده از فناوری نانو در مواد و تجهیزات خط و پست		
۲-۱- نانو پوشش‌ها در مواد و تجهیزات خط و پست		
۱-۱-۲- نانو پوشش‌ها و پوشش‌های نانوکامپوزیتی مقاوم به UV و شرایط محیطی مهاجم در سازه‌های بتنی		

ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم در سازه‌های بتنی		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم در سازه‌های بتنی	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش مناسب در سازه‌های بتنی		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد و پوشش‌های نانو ساختار مورد استفاده در تیرهای سیمانی	۴
۳	دستیابی به دانش فنی نانو پوشش‌های کامپوزیتی مورد استفاده در بتن‌های مورد استفاده در صنعت انتقال	۴
۴	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو مواد ترمیم کننده پایه‌های بتن‌های تخریب شده در سازه‌های صنعت برق	۴
۵	استفاده از فناوری نانو در افزایش دوام فونداسیون دکل‌های انتقال برق تحت حفاظت کاتدی و اجرای یک نمونه بصورت پایلوت	۵
۶	دستیابی به دانش فنی نانو مواد جهت ترمیم فونداسیون‌های بتنی	۴
۷	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های ضد سایش بتن در فونداسیون‌های بتنی	۴
۸	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های ضد یخ زدگی بتن‌های مورد استفاده در صنعت برق	۴
۹	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های مقاوم در برابر شرایط محیطی خورنده کلریدی بتن‌های مورد استفاده در صنعت برق	۴
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش در سازه‌های بتنی		
۱۰	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری استفاده از نانو پوشش‌های کامپوزیتی مورد استفاده در سازه‌های بتنی	۶
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم برای سازه‌های بتنی		
۱۱	ساخت مواد و نانو پوشش‌های ملات ترمیمی مورد استفاده در سازه‌های بتنی در مقیاس نیمه صنعتی	۹
۱۲	ساخت مواد و نانو پوشش‌های بازدارنده خوردگی مورد استفاده در سازه‌های بتنی در مقیاس نیمه صنعتی	۸
۲-۱-۲- نانو پوشش‌ها و پوشش‌های نانوکامپوزیتی مقاوم به UV و شرایط محیطی مهاجم در دکل‌های انتقال		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری

الف- امکان سنجی استفاده از نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم در دکل‌های انتقال		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی ساخت پوشش‌های نانوکامپوزیتی مقاوم به UV و شرایط محیطی مهاجم در دکل‌های انتقال	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش مناسب در دکل‌های انتقال		
۲	استفاده از نانو پوشش‌های دما بالا (کارخانه ایی و در حین ساخت) در دکل‌های انتقال	۴
۳	تهیه پوشش نانو کامپوزیتی پایه اکسید گرافن تک لایه برای حفاظت از خوردگی دکل‌های انتقال گالوانیزه	۵
۴	تحقیق و دستیابی به دانش فنی ۴ نوع از پوشش‌های ۵ لایه محافظتی (تبدیلی، گالوانیکی، میکرو کامپوزیتی و نانو کامپوزیتی) بر روی سازه‌های فولادی و گالوانیزه مورد مصرف در صنعت برق ایران	۵
۵	تدوین دانش فنی استفاده از پوشش‌های گالوانیزه گرم نانو ساختار بر روی قطعات دکل‌ها	۴
۶	تدوین دانش فنی استفاده از پوشش‌های گالوانیزه سرد نانو ساختار بر روی قطعات دکل‌ها	۴
۷	تدوین دانش فنی استفاده از پوشش‌های نانو کامپوزیتی غنی از روی در دکل‌های انتقال	۴
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش در دکل‌های انتقال		
۸	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری استفاده از نانو پوشش‌ها در دکل‌های انتقال	۷
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم برای دکل‌های انتقال		
۹	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم برای دکل‌های نصب شده و در حال کارکرد	۹
۱۰	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم برای دکل‌های در حال ساخت در کارخانه	۹
۳-۱-۲- نانو پوشش‌ها و پوشش‌های نانوکامپوزیتی مقاوم به UV و شرایط محیطی مهاجم در یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم در یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم در یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش مناسب در یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد و پوشش‌های نانوساختار مورد استفاده در یراق آلات	۴

۳	استفاده از نانو پوشش های مقاوم به سایش و خوردگی بر روی صفحات سکسیونرها	۴
۴	رنگ خوردگی مقاوم به رطوبت حاوی نانوذرات قابل استفاده در دکل ها و یراق آلات و سطوح فلزی	۴
۵	استفاده از نانو پوشش های سرامیکی در تجهیزات پست	۴
۶	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های ضدیخ زدگی یراق آلات و اجزای فلزی تجهیزات پست	۴
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش در یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست		
۷	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری استفاده از نانو پوشش‌های کامپوزیتی مورد استفاده در سازه‌های بتنی	۶
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم در یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست		
۸	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم برای یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست	۹
۴-۱-۲- نانو پوشش‌ها و پوشش‌های نانوکامپوزیتی مقاوم به UV و شرایط محیطی مهاجم در عایق‌ها و مقره‌های الکتریکی		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانو پوشش‌ها در عایق‌ها و مقره‌های الکتریکی		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانو پوشش‌ها بر روی مقره‌های الکتریکی سرامیکی و شیشه‌ای	۲
۲	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی ایجاد سطوح نانو بر روی مقره‌های الکتریکی کامپوزیتی	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش مناسب در عایق‌ها و مقره‌های الکتریکی		
۳	دستیابی به دانش فنی نانو پوشش‌های کامپوزیتی زمینه پلیمری پخت شونده در دمای اتاق، با خاصیت ابرآبگریزی جهت استفاده بر روی عایق‌ها مورد استفاده در صنعت انتقال	۴
۴	دستیابی به دانش فنی نانوپوشش‌های کامپوزیتی بر پایه شیشه جهت استفاده بر روی عایق‌های صنعت انتقال	۴
۵	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش و رنگ ابرآبگریز و ضدگرد و غبار	۴
۶	پوشش دهی مقره‌های سرامیکی با نانو پوشش‌های بر پایه نانو ذرات سیلیکا و بررسی تاثیرات آنها بر خواص مقره‌ها	۵

۷	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو RTV فوق آبگریز بر روی مقره‌های سرامیکی	۴
۸	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش مورد استفاده در مقره های کامپوزیتی	۴
۹	دستیابی به دانش فنی نانو پوشش‌های کامپوزیتی بر پایه شیشه جهت استفاده بر روی عایق‌های صنعت انتقال	۴
۱۰	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های ضد یخ زدگی عایق‌ها و مقره‌های سرامیکی الکتریکی	۴
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش بر روی عایق‌ها و مقره‌های الکتریکی		
۱۱	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری استفاده از نانو پوشش‌ها بر روی مقره‌های الکتریکی	۷
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی مهاجم برای عایق‌ها و مقره‌های الکتریکی		
۱۲	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش کامپوزیتی زمینه پلیمری پخت شونده در دمای اتاق مقاوم به شرایط محیطی مهاجم برای عایق‌ها و مقره‌های الکتریکی	۹
۵-۱-۲- نانو پوشش‌ها و پوشش‌های نانو کامپوزیتی مقاوم به UV و شرایط محیطی مهاجم در ترانسفورماتورها		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی و افزایش دهنده تبادل حرارتی با محیط در ترانسفورماتورها		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانو پوشش‌های مقاوم به شرایط محیطی و افزایش دهنده تبادل حرارتی با محیط بر روی سطوح خارجی ترانسفورماتورها	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش مناسب مورد استفاده در ترانسفورماتورها		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد و پوشش‌های نانو ساختار مقاوم به شرایط محیطی، خودتمیز شونده و افزایش دهنده تبادل حرارتی در بدنه خارجی ترانسفورماتورها	۵
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش در ترانسفورماتورها		
۳	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری استفاده از نانو پوشش در سطوح خارجی ترانسفورماتورها	۶
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی و افزایش دهنده تبادل حرارتی در ترانسفورماتورها		
۴	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم به شرایط محیطی و افزایش دهنده تبادل حرارتی در سطوح خارجی ترانسفورماتورها	۸

۶-۱-۲- نانو پوشش‌ها و پوشش‌های نانوکامپوزیتی مقاوم به UV و شرایط محیطی مهاجم در سیم و کابل		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان‌سنجی استفاده از نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای سیم و کابل‌های مورد مصرف در خطوط انتقال و پست		
۱	امکان‌سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای سیم و کابل‌های مورد مصرف در خطوط انتقال و پست	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای سیم و کابل‌های مورد مصرف در خطوط انتقال و پست		
۲	دستیابی به دانش فنی و ساخت نانو پوشش‌های ضد خوردگی مورد استفاده در میله‌های ارت شبکه‌های برق	۴
۳	دستیابی به دانش فنی نانو پوشش‌های کامپوزیتی مقاوم به شرایط محیطی مهاجم در رایزرها	۴
۴	بررسی و تولید نمونه آزمایشگاهی هادی مسی پوشش داده شده با نانو ساختار کربنی با هدف بهبود خواص الکتریکی	۵
۵	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های ضد یخ زدگی هادی‌های هوایی	۴
۶	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو پوشش‌های ضد یخ زدگی هادی‌های هوایی روکش دار و کابل خودنگهدار	۴
۷	جوانسازی روکش کابل با استفاده از نانو فناوری	۵
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای سیم و کابل‌های مورد مصرف در خطوط انتقال و پست		
۸	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری استفاده از نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای سیم و کابل‌های مورد مصرف در خطوط انتقال و پست	۷
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای سیم و کابل‌های مورد مصرف در خطوط انتقال و پست		
۹	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای سیم و کابل‌های مورد مصرف در خطوط انتقال و پست	۹
۷-۱-۲- نانو پوشش‌ها و پوشش‌های نانوکامپوزیتی مقاوم به UV و شرایط محیطی مهاجم در اتاقک‌های پست و تاسیسات و تابلوهای کامپوزیتی		

ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای اتاقک‌های پست و تاسیسات و تابلوهای کامپوزیتی خطوط انتقال و پست		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای اتاقک‌های پست و تاسیسات و تابلوهای کامپوزیتی خطوط انتقال و پست	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای اتاقک‌های پست و تاسیسات و تابلوهای کامپوزیتی خطوط انتقال و پست		
۲	دستیابی به دانش فنی و ساخت نانو پوشش‌های ضد قارچ مورد استفاده در اتاقک‌های پست و تاسیسات و تابلوهای کامپوزیتی	۴
۳	دستیابی به دانش فنی و ساخت نانو پوشش‌های ضد جلبک و خزه مورد استفاده در تابلوهای کامپوزیتی	۴
۴	دستیابی به دانش فنی و ساخت نانو پوشش‌های ضد قارچ مورد استفاده در اتاقک‌های پست و تاسیسات و تابلوهای کامپوزیتی	۴
ج- دستورالعمل استفاده از نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای اتاقک‌های پست و تاسیسات و تابلوهای کامپوزیتی خطوط انتقال و پست		
۵	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری استفاده از نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای اتاقک‌های پست و تاسیسات و تابلوهای کامپوزیتی خطوط انتقال و پست	۶
د- تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای اتاقک‌های پست و تاسیسات و تابلوهای کامپوزیتی خطوط انتقال و پست		
۶	تولید نیمه صنعتی نانو پوشش مقاوم و پایدار در شرایط محیطی مهاجم برای اتاقک‌های پست و تاسیسات و تابلوهای کامپوزیتی خطوط انتقال و پست	۸
۲-۲- نانو افزودنی در مواد و تجهیزات خط و پست		
۲-۲-۱- نانوافزودنی در سازه‌های بتن		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانو افزودنی بازدارنده از تخریب بتن در شرایط محیطی مهاجم برای سازه‌های بتنی		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانو افزودنی بازدارنده از تخریب بتن در شرایط محیطی مهاجم سازه‌های بتنی	۲

ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو افزودنی بازدارنده از تخریب بتن برای سازه‌های بتنی		
۲	افزایش دوام فونداسیون دکل‌های انتقال با استفاده از افزودنی‌های نانو در مرحله ساخت فونداسیون دکل و اجرای یک نمونه بصورت پایلوت	۵
۳	تدوین دانش فنی ساخت نانو افزودنی بازدارنده از تخریب بتن در شرایط محیطی نمک‌های کلریدی مهاجم برای سازه‌های بتنی	۴
۴	تدوین دانش فنی ساخت نانو افزودنی بازدارنده از تخریب بتن در اثر یخ زدگی برای سازه‌های بتنی	۴
۵	تدوین دانش فنی ساخت نانو افزودنی بازدارنده از تخریب بتن در اثر عوامل ساینده محیطی برای سازه‌های بتنی	۴
۶	تدوین دانش فنی ساخت نانو افزودنی خودترمیمی بتن برای سازه‌های بتنی	۴
۷	تدوین دانش فنی ساخت نانو افزودنی جهت افزایش تاب‌آوری بتن (بتن فوق مستحکم)	۴
ج- دستورالعمل استفاده از نانو افزودنی به شرایط محیطی مهاجم در سازه‌های بتنی		
۸	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری استفاده از نانو افزودنی بازدارنده از تخریب بتن در شرایط محیطی مهاجم برای سازه‌های بتنی	۶
د- تولید نیمه صنعتی نانو افزودنی بازدارنده از تخریب بتن در شرایط محیطی مهاجم برای سازه‌های بتنی		
۹	تولید نیمه صنعتی نانو افزودنی بازدارنده از تخریب بتن در شرایط محیطی مهاجم برای سازه‌های بتنی	۹
۲-۲-۲- نانو افزودنی در روغن ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان‌سنجی استفاده از نانو افزودنی مقاوم به شرایط محیطی و بهبود دهنده عملکرد در روغن ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت		
۱	امکان‌سنجی و بررسی فنی و اقتصادی استفاده از نانو افزودنی مقاوم به شرایط محیطی و بهبود دهنده عملکرد در روغن ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت نانو افزودنی مقاوم به شرایط محیطی و بهبود دهنده عملکرد در روغن ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت		
۲	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد افزودنی نانو ساختار برای بهبود انتقال حرارت در روغن‌های ترانسفورماتور	۴
۳	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد افزودنی نانو ساختار برای بهبود عملیات کلید زنی در کلیدهای قدرت	۴

ج- دستورالعمل استفاده از نانوافزودنی مقاوم به شرایط محیطی و بهبود دهنده عملکرد روغن ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت		
۴	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری استفاده از نانوافزودنی مقاوم به شرایط محیطی و بهبود دهنده عملکرد روغن ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت	۶
د- تولید نیمه صنعتی نانو افزودنی مقاوم به شرایط محیطی و بهبود دهنده عملکرد روغن ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت		
۵	تولید نیمه صنعتی نانو افزودنی مقاوم به شرایط محیطی و بهبود دهنده عملکرد روغن ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت	۸
۳-۲- نانو ساختارها در قطعات و تجهیزات خط و پست		
۱-۳-۲- قطعات و تجهیزات نانو ساختار در دکل‌های انتقال		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی ساخت دکل‌های انتقال مبتنی بر نانو فناوری		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی ساخت دکل‌های انتقال مبتنی بر نانو فناوری	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت دکل‌های انتقال با نانو فناوری		
۲	تدوین دانش فنی ساخت قطعات کامپوزیتی دکل‌های انتقال با نانو فناوری	۴
ج- دستورالعمل نحوه بررسی دکل‌های انتقال ساخته شده با نانو فناوری		
۳	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری نحوه بررسی دکل‌های انتقال ساخته شده با نانو فناوری	۶
د- تولید نیمه صنعتی اجزاء دکل‌های انتقال با نانو فناوری		
۴	تولید نیمه صنعتی اجزاء دکل‌های انتقال با نانو فناوری	۸
۲-۳-۲- قطعات و تجهیزات نانو ساختار در یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی ساخت یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست با نانو فناوری		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی ساخت یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست با نانو فناوری	۲

ب- تدوین دانش فنی ساخت یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست با نانو فناوری		
۲	تدوین دانش فنی ساخت یراق آلات مورد استفاده در خطوط انتقال و پست با نانو فناوری	۴
۳	تدوین دانش فنی ساخت فلزات و آلیاژهای نانو کریستال مورد استفاده در یراق آلات	۴
ج- دستورالعمل نحوه بررسی یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست ساخته شده با فناوری نانو		
۴	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری نحوه بررسی یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست ساخته شده با فناوری نانو	۶
د- تولید نیمه صنعتی یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست با فناوری نانو		
۵	تولید نیمه صنعتی یراق آلات و اجزاء فلزی خطوط انتقال و پست با فناوری نانو	۹
۳-۳-۲- قطعات و تجهیزات نانوساختار در عایق ها و مقره‌های الکتریکی		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی ساخت عایق ها و مقره‌های الکتریکی با نانو فناوری		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی ساخت مقره‌های الکتریکی سرامیکی با نانو فناوری	۲
۲	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی ساخت مقره‌های الکتریکی کامپوزیتی با نانو فناوری	۲
۳	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی ساخت مقره‌های بتن پلیمری با نانو فناوری	۲
۴	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی ساخت مقره‌های هیبریدی با نانو فناوری	۲
۵	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی ساخت مقره‌های رزینی با نانو فناوری	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت عایق ها و مقره‌های الکتریکی با نانو فناوری		
۶	دستیابی به دانش فنی ساخت لعاب‌های ابر آبگریز نانو ساختار و اعمال آن در مقره پرسیلانی	۴
ج- دستورالعمل نحوه بررسی عایق ها و مقره‌های الکتریکی ساخته شده با نانو فناوری		
۷	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری نحوه بررسی مقره‌های الکتریکی سرامیکی و شیشه ایی ساخته شده با نانو فناوری	۶
۸	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری نحوه بررسی مقره‌های الکتریکی کامپوزیتی ساخته شده با نانو فناوری	۷
د- تولید نیمه صنعتی ساخت مقره‌های الکتریکی با نانو فناوری		

۹	تولید نیمه صنعتی ساخت مقره‌های الکتریکی سرامیکی با نانو فناوری	۹
۲-۳-۴- قطعات و تجهیزات نانو ساختار در ترانسفورماتورها		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی استفاده از نانو فناوری در ساخت اجزاء ترانسفورماتورها		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی و بررسی فنی و اقتصادی ساخت مواد و قطعات نانو ساختار مورد استفاده در ترانسفورماتورها	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت اجزاء ترانسفورماتورها با نانو فناوری		
۲	مشاوره، بررسی و تحقیق درخصوص ورق هسته ترانسفورماتور مبتنی بر نانو ذرات فریتی و ساخت یک نمونه محصول آن	۵
۳	ساخت آلیاژ نانو کریستال/آمورف پایه آهن برای کاربرد در هسته‌های مغناطیسی	۵
۴	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد نانو ساختار در سیستم پایش و کنترل گازها در ترانسفورماتورها	۴
۵	دستیابی به دانش فنی ساخت مواد نانو ساختار در مواد عایقی ترانسفورماتورها	۴
۶	دستیابی به دانش فنی ساخت نانو سنسورهای گازی مورد مصرف در ترانسفورماتورها	۴
ج- دستورالعمل ساخت اجزاء ترانسفورماتور با نانو فناوری		
۷	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری ساخت اجزاء ترانسفورماتور با نانو فناوری	۷
د- تولید نیمه صنعتی اجزاء ترانسفورماتور ساخته شده با نانو فناوری		
۸	تولید نیمه صنعتی اجزاء ترانسفورماتور ساخته شده با نانو فناوری	۹
۲-۳-۵- قطعات و تجهیزات نانو ساختار در سیم و کابل		
ردیف	عنوان پروژه	سطح آمادگی فناوری
الف- امکان سنجی ساخت یا بهبود عملکرد سیم و کابل با نانو فناوری		
۱	امکان سنجی و بررسی فنی و اقتصادی ساخت یا بهبود عملکرد سیم و کابل با نانو فناوری	۲
ب- تدوین دانش فنی ساخت یا بهبود عملکرد سیم و کابل با نانو فناوری		

۲	بررسی و تولید نمونه آزمایشگاهی هادی مسی پوشش داده شده با نانو ساختار کربنی با هدف بهبود خواص الکتریکی	۵
۳	تدوین دانش فنی ساخت هسته نانو ساختار هادی‌های هوایی	۴
۴	تدوین دانش فنی ساخت روکش نانو ساختار بهبوددهنده خواص مکانیکی و ضد اشتعال هادی‌های هوایی روکش دار و کابل‌ها	۴
۵	تدوین دانش فنی ساخت آلیاژ نانو ساختار مورد استفاده در هادی‌های هوایی	۴
ج- دستورالعمل نحوه بررسی سیم و کابل ساخته شده با نانو فناوری		
۶	تدوین دستورالعمل ارزیابی، بهره برداری، تعمیر و نگهداری نحوه بررسی سیم و کابل ساخته شده با نانو فناوری	۷
د- تولید نیمه صنعتی سیم و کابل ساخته شده با نانو فناوری		
۷	تولید نیمه صنعتی سیم و کابل ساخته شده با نانو فناوری	۸

۳-۳- چالش‌های اولویت‌دار در صنعت برق و کاربرد فناوری نانو برای حل آن‌ها

در ادامه به ارائه عناوین اولویت دار کلیدی در حوزه‌های مختلف صنعت برق اشاره می‌شود که در واقع در برگیرنده عناوین کاربردی نانوفناوری در هر حوزه می‌باشد.

۳-۳-۱- نانو پوشش و رنگ ابر آب‌گریز و ضد گرد و غبار برای تجهیزات عایقی

نشست آلودگی و به خصوص ذرات گرد و غبار در مناطق جنوبی کشور بر سطح مقره‌ها و سپس حضور رطوبت در محیط موجب ایجاد جرقه باند خشک شده و بروز شکست الکتریکی در مقره می‌شود. این امر در نهایت منجر به قطع برق شبکه و مشکلات عدیده‌ای می‌گردد که نمونه‌ای از این مشکل به طور وسیع در سال‌های اخیر در استان خوزستان به وقوع پیوست. یکی از مؤلفه‌های کلیدی قابلیت اطمینان در خطوط انتقال نیرو، انتخاب مقره‌های فشار قوی مناسب است. مقره یکی از مهمترین اجزای سیستم توزیع انرژی الکتریکی است. مقره‌ها باید دارای ویژگی‌هایی نظیر ولتاژ شکست بالا، مقاومت بالا در مقابل نفوذ آب، تلفات عایقی کم و غیره باشند؛ از این رو شناخت و بررسی عوامل مخرب مقره و روش‌های مقابله با آنها، کمک شایانی به حوزه توزیع و انتقال نیرو می‌کند.

مقره‌های سرامیکی و شیشه‌ای اقتصادی ترین نوع مقره‌ها هستند که در تمام دنیا به شکل گسترده برای انتقال و توزیع قدرت استفاده می‌شوند. موارد زیادی از عدم کارایی این نوع مقره‌ها مانند بروز مشکلات ناشی از تخلیه الکتریکی در مقره‌های سرامیکی و شیشه‌ای در مناطق مرطوب و آلوده گزارش شده است. در اثر تخلیه الکتریکی، برق خطوط ممکن است تا مدتی قطع شود و خسارات جبران ناپذیری در بیمارستان‌ها، کارخانه‌های مکانیزه، مراکز مختلف صنعتی و ... رخ دهد. در خصوص علت این پدیده می‌توان گفت که در اثر حضور گرد و خاک و رطوبت روی سطح مقره، لایه‌ای رسانا بر روی آن ایجاد می‌شود و به این ترتیب جریان نشت می‌کند و ولتاژ شکست کاهش می‌یابد.

یابد. برای حل این مشکلات، روش‌های متفاوتی از جمله تمیزکردن و شستشو با آب، تغییر ماهیت ماده‌ی مورد استفاده در مقره مثل استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری-بتنی و اعمال پوشش خود تمیزشونده بر روی سطح مقره پیشنهاد شده است. با ایجاد تغییرات در شیمی سطح و زاویه تماس باعث ایجاد حفاظت سطح زیری در برابر آلودگی‌های محیطی، تخریب ناشی از اشعه خورشید، تغییرات دمایی و بارش باران می‌گردد. نانو پوشش‌های فوق آبگریز، اکثراً مقرون به صرفه، دوستدار محیط زیست، دارای خاصیت خود تمیزشوندگی، مقاوم به نور فرابنفش، ضد شوره، ضد لکه و گرد و غبار می‌باشند. به همین دلیل، استفاده از این نانو پوشش‌ها جهت رفع یکی از عمده‌ترین نقاط ضعف مقره‌های سرامیکی که تجمع آلودگی و حضور رطوبت است، می‌تواند بسیار مفید و حائز اهمیت باشد و از وقوع جرقه‌های خشک در اثر آلودگی جلوگیری خواهد شد. علاوه بر این مقره‌های پوشش داده شده نیاز کمتری به شستشو داشته، که از نظر اقتصادی و بهره‌وری نیز بسیار مهم می‌باشد.

استفاده از این پوشش‌های آب‌گریز در شرایطی که بحران وجود ریزگردها در برخی مناطق از کشور عزیزمان باعث بروز مشکلاتی در انتقال برق گشته است، می‌تواند از نشست آلودگی‌ها بر روی تجهیزات الکتریکی و اختلال در عملکرد آن‌ها جلوگیری کند. هم‌چنین وجود نانو ذرات سیلیکا در این پوشش‌ها باعث افزایش خواص مکانیکی نظیر سختی و استحکام کششی شده و طول عمر پوشش را بهبود می‌دهد. افزایش طول عمر پوشش و نیز بهبود خاصیت خود تمیز شوندگی و آب‌گریزی، منجر به جلوگیری از افزایش بیش از حد جریان نشتی در طی سرویس، کاهش اتلاف برق و افزایش بازدهی پوشش‌های سیلیکونی می‌شود. بنابراین با استفاده از پوشش‌های آب‌گریز سیلیکون رابر تقویت شده با نانو ذرات سیلیکا، قطعی برق در اثر نشست گرد و غبار بر روی تجهیزات و افزایش جریان نشتی، به حداقل می‌رسد. هم‌چنین به جای حذف مقره‌های سرامیکی مورد استفاده، می‌توان از این پوشش‌های پلیمری نانو کامپوزیتی برای حذف اثرات نامطلوب ناشی از گرد و غبار و سایر آلودگی‌های محیطی استفاده کرد. شکل (۳-۸) مقره‌های پوشش داده‌شده با نانو کامپوزیت RTV-SiO₂ نشان می‌دهد. با استفاده از نانو ذرات سیلیکا در زمینه سیلیکون رابر (RTV) نتایج زیر در مقیاس آزمایشگاهی حاصل شد: ساخت نانو پوشش خود تمیز شونده و آب‌گریز با خواص مطلوب برای استفاده در تجهیزات عایقی صنعت برق

استفاده از نانو ذرات سیلیکا برای افزایش طول عمر پوشش‌ها در شرایط کاری و مقاومت بهتر در برابر تخریب محیطی بهبود ۳۰ درصدی سختی پوشش‌های سیلیکونی

افزایش ۴۶ درصدی استحکام کششی پوشش‌های سیلیکونی

افزایش ۵۰ درصدی استحکام پارگی پوشش‌های سیلیکونی

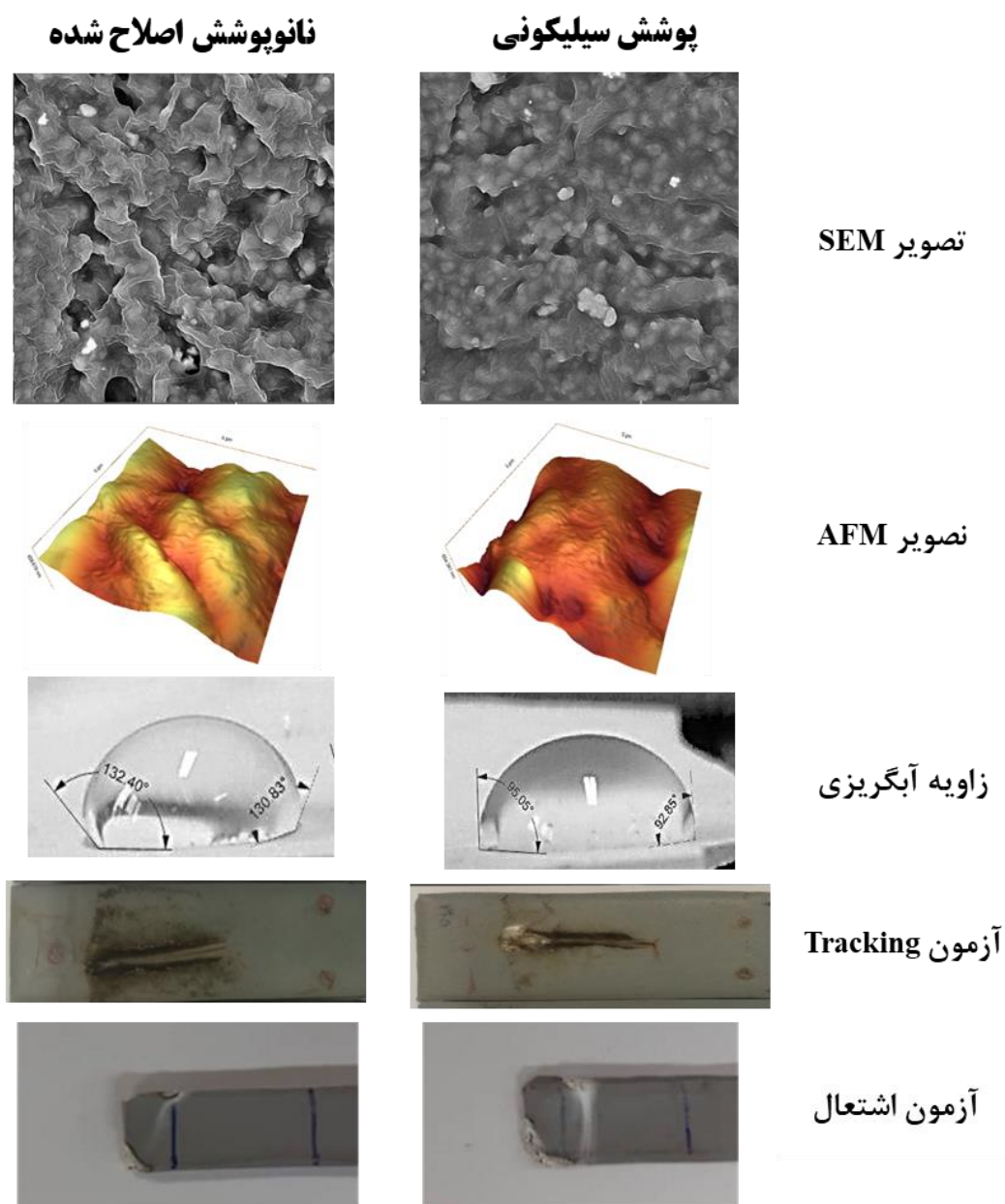
افزایش ۲۶ درصدی آب‌گریزی پوشش و بهبود خاصیت خود تمیز شوندگی

مقره بدون پوشش RTV RTV+ 1%SiO₂ RTV+ 3%SiO₂ RTV+ 5%SiO₂



شکل ۳-۸- مفره‌های پوشش داده‌شده با نانو کامپوزیت RTV-SiO₂

همانطور که اشاره شد با استفاده از درصد بهینه نانو ذرات سیلیکا (۳٪) در زمینه سیلیکون رابر، خواص فیزیکی، مکانیکی، سطحی و میکروسکوپی سیلیکون رابر بهبود می‌یابد. درصد و میزان تغییرات این خواص در شکل (۳-۹) و جدول (۳-۶) قابل مشاهده است.



شکل ۳-۹- مقایسه پوشش سیلیکونی و نانو پوشش اصلاح شده

جدول ۳-۶- درصد بهبود خواص مختلف پوشش سیلیکونی با افزودن بهینه نانو ذرات سیلیکا

عنوان مشخصه	مرجع بررسی	واحد	معیار پذیرش	RTV خالص	کامپوزیت	درصد بهبود
سختی	ISO 868 یا ASTM D 2240	Shore A	≥ 30	42.25	54.47	+28.92%
استحکام کششی	ISO 37 یا ASTM D 412	N/mm ²	≥ 1.7	2.3	3.34	+45.22%
درصد ازدیاد طول در پارگی	ISO 37 یا ASTM D 412	%	≥ 100	137	186	+35.77%
استحکام پارگی	ISO 34-1 یا ASTM D 624 (Die C)	N/mm	≥ 6	8	11.96	+49.50%
ثابت دی‌الکتریک (در فرکانس ۵۰ و ۱۰۰ هرتز)	IEC 60250	-	<4	3.541	3.26	+7.93%
اشتعال پذیری	IEC 62217	mm	طول ناحیه سوخته شده کمتر از ۱۰۰mm	6	5	+16.67%
آزمون فرسایش و خوردگی سطح شیب‌دار	IEC 60587 و Cigre 478	mm	تحميل ولتاژ ۳.۵KV به مدت ۶ ساعت و طول ناحیه سوخته شده کمتر از ۲۵mm	18	1	+94.44%
زاویه تماس (آبگریزی)	IEC TS 62073	degree	≥ 120	101.74	128.83	+26.63%
کلاس آبگریزی	IEC TS 62073	-	HC1	HC2	HC1	+HC
انتقال آبگریزی	IEC 60507	Hour	زمان رسیدن به زاویه تماس بالاتر از ۱۲۰ درجه	نرسید	24	+100%
غوطه‌وری در آب (سختی آب جوش)	IEC62-217	درصد کاهش سختی	افت سختی کمتر از ۲۰٪	از 49.66 به 43.83 کاهش یافت (-11.74)	از 57.4 به 53 کاهش یافت (-7.66)	+34.75%
آزمون ولتاژ فرکانس قدرت در شرایط مرطوب	IEC 60383-1	kV	افت ولتاژ شکست کمتر از ۱۰ درصد نسبت به حالت قبل	49	48	-2.04%
آزمون فرسایش محیطی تسریع شده (UV)	ISO 4287	μm	Roughness $m\mu < 100$	14	9	+35.71%
آزمون مه نمکی	IEC 62217	μA	مقایسه	275	273	+0.72%

۳-۲-۳- نانو پوشش محافظ بتن

تخریب استراکچرهای بتنی در برخی پست‌ها و سازه‌های انتقال در صنعت برق نسبتاً شدید می‌باشد. این پدیده جدا از مشکلات ناشی از زمان اجرا نظیر (کیفیت پایین عمل‌آوری و اجرای بتن) می‌تواند به بارندگی‌های زیاد و اختلاف دما در فصل گرم و سرد سال مربوط گردد. از سوی دیگر عوامل محیطی نظیر رطوبت زیاد، تغییرات دما، گازکربنیک ناشی از آلودگی هوا و یا هوازادگی، وجود یون کلر یا خوردگی میکروبی می‌تواند منجر به تخریب و حتی فاسد لایه

های زیرین بتن گردد. از آنجایی که علاوه بر آب، سایر عوامل مخرب به صورت یون‌های محلول در آب به داخل بتن نفوذ می‌نمایند، با کمک نانوپوشش‌های محافظ بتن می‌توان با ایجاد خاصیت آبگریزی در سطح بتن از نفوذ آب و رطوبت به آن جلوگیری نمود و طول عمر بتن را افزایش داد.

یکی از عوامل عدم پایداری بتن، شرایط پیرامونی نامناسب مانند وجود سولفات‌ها و نمک‌ها در پیرامون سازه بتنی و خوردگی فولاد به سبب نفوذ موادشیمیایی مضر و رطوبت در سازه‌های بتن فولادی می‌باشد. خوردگی آرماتورها در بسیاری از تیرهای بتنی در خطوط توزیع نیروی برق بعد از گذشت چند سال باعث خم شدن و سقوط تیربرق می‌شود. استفاده از پوشش‌های فوق آبگریز پلی یورتانی می‌تواند از تجمع نمک‌ها و املاح بر روی سطح سازه‌های بتنی جلوگیری کرده و جذب آب را به این سازه‌ها که سبب خوردگی آرماتورها می‌شود به حد قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد.

پوشش‌های نانوپلی یورتانی دارای خاصیت سوپرا آبگریزی بوده و مقاومت آب و هوایی مناسبی از خود نشان داده‌اند. جهت افزایش چسبندگی پوشش سوپرا آبگریز به سطح بتن، یک لایه پوشش اپوکسی رزین بر روی بتن اعمال می‌گردد که این پوشش باعث کاهش قیمت نهایی محصول هم می‌گردد. درحقیقت محصول نهایی قابل ارایه به مشتری به صورت دولایه آستری (پوشش اپوکسی) و نهایی (پوشش فوق آبگریز پلی یورتانی) است.

جدول ۳-۷- مشخصات پوشش پلی یورتان سوپرا آبگریز و آستری اپوکسی

ردیف	نوع نمونه	ضخامت پوشش (میکرون)	وزن مخصوص (g/cm^3)	زمان مورد نیاز مرطوب سازی سطح پس از اعمال (ساعت)	برآورد هزینه مواد (واحد)
۱	نانوپلی یورتان	۲۰	۰/۸۵	بدون نیاز به مرطوب سازی	۵۰۰۰
۲	اپوکسی	۵۰	۰/۷۹	بدون نیاز به مرطوب سازی	۳۵۰۰

پوشش مذکور در آزمایشگاه بر روی بلوک‌های بتنی جهت انجام آزمایشات کنترلی اعمال شد. در شکل ۳-۱۰ میزان جذب آب در بتن با پوشش نانو و بدون پوشش مقایسه شده‌است. استفاده از این نانو پوشش بر روی بتن دارای نقاط قوت متعددی بود که عبارت‌اند از:

مقاومت از بتن در برابر نفوذ آب و رطوبت و یون‌های مخرب

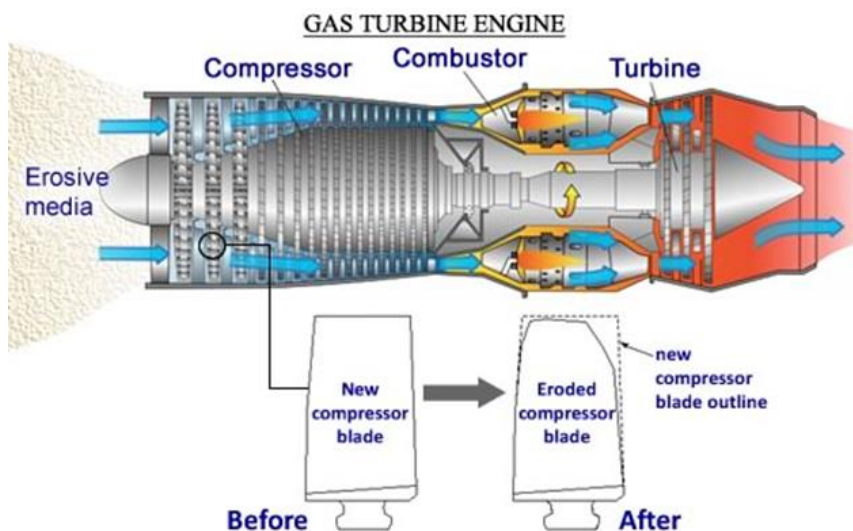
۱. افزایش طول عمر بتن
۲. پایداری پوشش در برابر عوامل جوی نظیر بارندگی و تابش نور خورشید
۳. اجرای ساده و آسان
۴. هزینه پایین



شکل ۳-۱۰- مقایسه میزان جذب آب در بتن با پوشش نانو و بدون پوشش

۳-۳-۳- نانو پوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار

اجزای یک موتور توربین گازی باید در برابر بار اعمال شده، دمای بالا و محیط خورنده یا فرساینده مقاومت کنند. موتورهای پیشرفته از پوشش‌های بهبود یافته مختلفی بصورت نانو ساختار در اجزای مختلف گرم و سرد توربین استفاده می‌کنند. منظور از منطقه سرد توربین، بخش کمپرسور توربین است. در قسمت فن و کمپرسور توربین گازی، پوشش‌های مقاوم به سایش و فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخورد ذرات گرد و غبار عبور کرده از فیلترهای هوا یا قطرات ناشی از رطوبت به سطح پره کمپرسور توربین گازی موجب تخریب تدریجی سطح پره شده و علاوه بر خرابی قطعه باعث کاهش راندمان آن می‌گردد. شماتیک تخریب سطحی پره‌های کمپرسور توربین گازی در اثر برخورد با ذرات ساینده در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۱- شماتیک تخریب سطحی پره‌های کمپرسور توربین گازی در اثر برخورد با ذرات ساینده

در توربین بخار هنگامی که بخار آب در ردیف‌های آخر توربین بصورت یک قطره مایع کندانس می‌گردد، در اثر برخورد قطره به سطح پره، فشار بسیار زیاد ناگهانی در مدت زمان کوتاهی تولید می‌شود. موج فشار باعث تغییر شکل پلاستیک مواد می‌شود. تکرار این تغییر شکل پلاستیک باعث افزایش تنش داخلی شده و بعد از مدت زمان معینی، تمرکز تنش در بعضی از سطوح افزایش می‌یابد و از استحکام کشش ماده بالاتر می‌رود و آن‌گاه ترک شکل می‌گیرد.

توربین بخار پره‌های کم‌فشار نسبت به پره‌های پرفشار و فشار متوسط بیشتر در معرض تخریب ناشی از سایش و خوردگی هستند.

فرسایش ذرات جامد (SPE) و حالت فرسایش قطرات مایع کوچک (LDE) سبب خسارت رساندن به اجزای توربین مثل کمپرسورهای گازی و پره‌های توربین می‌شود. SPE باعث کاهش بازده توربین و کاهش ضریب اطمینان ایرفویل‌ها و موجب انهدام آن در طول سرویس دهی می‌شود. همچنین به علت وجود رطوبت احتمالی در هوای کمپرسور پدیده‌ی خوردگی نیز از آسیب‌های احتمالی قطعات مذکور محسوب می‌شود. منشاء رطوبت به دلیل بارندگی، کندانس آب از هوای مرطوب محیط اطراف و یا وجود سیستم‌های سرمایشی تبخیری می‌باشد که تنها در ردیف‌های اول تا هشتم کمپرسور وجود خواهد داشت و در ردیف‌های بعدی به دلیل افزایش تدریجی فشار و دما به بالاتر از دمای جوش آب قطرات مایع وجود نداشته و به فاز بخار تبدیل می‌شود.

پره‌های متحرک کمپرسور در طی سیکل کاری خود در معرض تنش‌های آیرودینامیکی و نیروهای گریز از مرکز مکانیکی می‌باشند در نتیجه همواره مستعد پدیده‌های خستگی (پرچرخه و کم‌چرخه) در ایرفویل و همچنین خستگی فرسایشی در ریشه‌ی پره‌ی متحرک در تماس با دیسک هستند. پره‌های ثابت و متحرک کمپرسور عموماً از جنس آلایژهای فولاد زنگ‌نزن مارتنزیتی AISI 403 یا AISI 403+Cb یا اخیراً فولاد زنگ‌نزن رسوب سختی GTD-450 با ترکیب $Fe_{15.5}Cr_{6.3}Ni_{0.8}Mo_{0.03}C$ و در برخی موارد آلومینیم، تیتانیوم و یا سوپرآلایژهای پایه نیکل ساخته می‌شوند. نسل اولیه پوشش‌های بکار رفته NiCd بیک پوشش چقرمه نیکل با لایه فداشونده از کادمیم بود در ادامه پوشش‌های چند لایه دیگر آلومینیومی به همراه لایه فوقانی دوغابی سرامیکی مورد استفاده قرار گرفتند.

علاوه بر پره‌ها، پمپ‌ها و قطعات زیادی در نیروگاه‌های حرارتی وجود دارد که انتخاب پوشش‌های مناسب که نیازهای قطعه را جهت کارکرد بهینه برآورده سازند در این قطعات ضروری به نظر می‌رسد. حرکت سیال و برخورد ذرات موجود درون سیال موجب فرسایش اجزا و قطعات داخلی ولو‌ها خواهد شد. این مشکل بخصوص در مورد ولوهای نیروگاهی که حاوی سیالات دما بالا یا جریان بخار هستند، بسیار شدیدتر می‌باشد. با کمک روش‌های مختلف لایه نشانی نانو پوشش‌های سخت سرامیکی با ضخامت‌های نانومتری تا چند ده میکرومتری با سختی بالا (تا چند هزار ویکرز) قابل اعمال است که می‌تواند قابلیت تحمل شرایط سخت محیطی از جمله خوردگی، فرسایش و سایش در ولو‌ها را افزایش دهد که این موضوع می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری و افزایش عمر ولو‌ها و کاهش هزینه‌ها گردد.

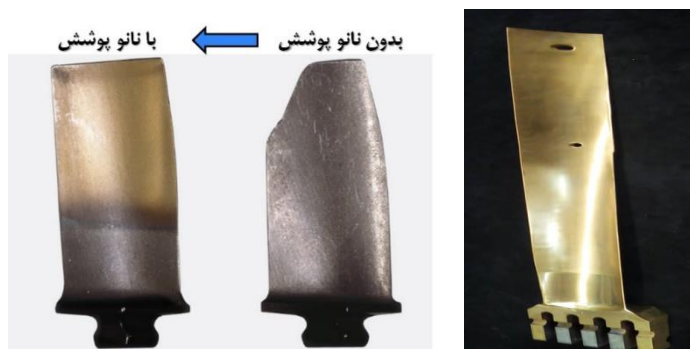
امروزه دامنه جدیدی از پوشش‌ها با ساختار نانومتری توسعه یافته است که می‌توان خواص مهندسی ویژه‌ای را در لایه‌های سطحی به وجود آورد. با تغییر ساختار میکروسکوپی پوشش‌ها و ایجاد نانو ذرات می‌توان مقاومت سایشی پوشش‌ها را افزایش داد. از جمله مزایای مواد نانومتری به خصوص به صورت نانو ساختار عبارت از افزایش کیفیت خواص پوشش، افزایش طول عمر سرویس پوشش، سازگاری بیشتر با محیط زیست، مقاومت به سایش، اکسیداسیون و خوردگی به همراه مقاومت خوب به رشد ترک و شوک حرارتی است.

مواد و پوشش‌ها با ساختار نانو به واسطه کاهش اندازه، قابلیت اصلاح خواص فیزیکی و مکانیکی را دارا می‌باشند. استفاده از مواد با ساختار نانو مزایای مختلفی دارد در فلزات با کاهش اندازه دانه، به سختی و استحکام بالاتری می‌توان دست یافت. در سرامیک‌ها به علت کاهش مقدار عیوب و افزایش آزادسازی تنش در مرز دانه‌ها، سختی و تافنس بالاتری به دست می‌آید همچنین در نتیجه افزایش مرزهای دانه نفوذپذیری و ضریب انبساط حرارتی (CTE) افزایش، هدایت حرارتی و مدول یانگ کاهش می‌یابد.

پوشش‌های مختلفی برای جلوگیری از تخریب این پره‌ها بر روی آن‌ها اعمال می‌شود. پوشش‌های جدید سرامیکی TiN به صورت‌های دو جزئی و سه جزئی و چند لایه‌های نانو ساختار نیز برای این منظور مورد بررسی قرار گرفتند.

برخی از پوشش‌های متداول مورد استفاده در این پرها شامل پوشش‌های تک لایه TiN ، CrN ، ZrN ، TiAlN و پوشش‌های چند لایه Cr/CrN ، Ti/TiN و سوپر شبکه CrN/NbN هستند. تکنولوژی پوشش‌های مورد استفاده در توربین‌های گازی PVD ، CVD و اسپری حرارتی و نفوذی و آبکاری الکتریکی می‌باشد. همچنین با توجه به نیازها و تقاضاهای جدید صنایع، تاکنون پنج نسل مختلف از پوشش‌های سخت و مقاوم به سایش توسعه یافته است. نسل چهارم این پوشش‌ها، پوشش‌های نانوکامپوزیتی هستند که به دلیل نیاز به افزایش هم‌زمان خواص از جمله سختی، چقرمگی و پایداری حرارتی توسعه یافته اند. در سال‌های اخیر پوشش‌های نانوکامپوزیت (به خصوص TiN نانوکریستالین در رزمینه آمورف Si_3N_4 یا نانوکامپوزیت $\text{TiN/Si}_3\text{N}_4$) توسط چندین گروه تحقیقاتی در دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است. این پوشش‌ها در آزمون‌های آزمایشگاهی بسیار سخت هستند و مقاومت به سایش بسیار خوبی را از خود نشان می‌دهند. نمونه یک پوشش ضد فرسایش اعمال شده بر روی پره توربین و مقایسه با پره بدون پوشش در شکل ۳-۱۲ مشاهده می‌شود. مطابق جدول ۳-۸ استفاده از این پوشش‌ها باعث موارد زیر گردید:

۱. افزایش مقاومت به فرسایش پره توربین بخار در برابر بخارات داغ (رفتگی و کویتاسیون)
۲. تخمین افزایش سه برابری عمر پره توربین بخار در صورت استفاده از پوشش نانو ساختار
۳. امکان حذف جوشکاری استلایت در روش مرسوم (با هدف جلوگیری از فرسایش)
۴. کاهش هزینه ساخت و تعمیر و نگهداری پره توربین بخار



شکل ۳-۱۲- نمونه یک پره توربین پوشش داده شده و مقایسه آن با پره بدون پوشش

جدول ۳-۸- مشخصات نانو پوشش ضد فرسایش اعمال شده بر روی پره توربین

مشخصه	مقدار
جنس زیر لایه	فولادی زنگ زن ۴۲۰
تعداد لایه ها	۳۲ لایه
ترکیب شیمیایی لایه/لایه ها	Ti/TiN
ضخامت لایه/لایه ها	۵۰ نانومتر
زبری سطح	۰.۳۵ میکرون
اندازه کریستال	۱۰ نانومتر
مورفولوژی و ریزساختار	پوشش یکتواخت لایه ای
چسبندگی	HF1
چقرمگی شکست	۲ MPa√m
سختی	۲۲۰ ویکرز
مدول الاستیک	حد اقل ۳۰۰ گیگاپاسکال
مقاومت به سایش	۰.۰۰۱ gr/km
مقاومت به فرسایش	۰.۰۰۱ gr/km
ضریب اصطکاک	۰.۴
حداکثر دمای کاری پوشش	۵۰۰ درجه سانتیگراد
مقاومت به خوردگی	جریان خوردگی ۱۰ ^{-۶}
زاویه تر شوندگی	۵۰ درجه

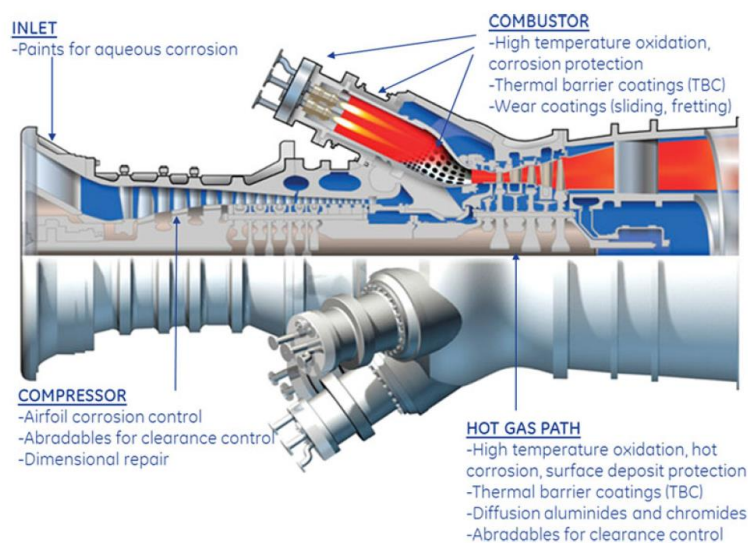
۳-۳-۴- نانو پودر سد حرارتی YSZ

بازدهی توربین های گازی با افزایش دمای کاری شدیداً افزایش می یابد اما چالش اصلی برای افزایش دمای کاری حفظ خصوصیات مکانیکی اجزای توربین به ویژه قسمتهای داغ در دمای بالا می باشد. برای رسیدن به این هدف، آلیاژهای بسیاری ساخته و بکار گرفته شده اند اما بهترین نوع سوپر آلیاژهای پایه نیکلی، خواص مکانیکی خود را در دماهای بالای ۸۵۰°C از دست می دهد. همچنین اجزای موتور توربین باید در مقابل اکسیداسیون در دماهای بالا و حملات خوردگی داغ مقاوم باشند. بنابراین برای افزایش دمای کاری موتور توربین از پوششهای سد حرارتی (TBC^۱) به منظور ایزوله کردن حرارتی اجزای داغ، استفاده میشود. از جمله این اجزا می توان به پره های متحرک توربین^۲، محفظه های احتراق^۳، پره های ثابت ردیف اول اشاره کرد. نمونه ای از پوشش های سد حرارتی بکر رفته در توربین های گازی بر حسب دمای کاری در شکل ۳-۱۳ ارائه شده است.

¹ Thermal Barrier Coating

² Turbine Blades

³ Combustor Cans



شکل ۳-۱۳- نمونه ای از پوشش های بکار رفته در توربین های گازی بر حسب دمای کاری
 از آنجاییکه دما در نواحی داغ موتور توربین می‌تواند به 2000°C نیز برسد، پوششهای سد حرارتی سدی بین گازهای
 داغ موتور و بخشهای فلزی که در آن دما دچار زوال می‌شوند ایجاد می‌کنند. لایه سرامیکی که معمولاً از جنس
 زیرکونیای پایدار شده با ایتریا (YSZ) است فلز زیر لایه را ایزوله می‌کند و باعث می‌شود که علاوه بر بالاتر رفتن دمای
 کاری و افزایش بازدهی موتور، دمای اجزای فلزی پایین تر بوده و در نتیجه زوال و تخریب مکانیکی بصورت خزش و
 ...، دیرتر صورت گرفته و در مجموع منجر به بهبود کارایی، بازدهی بیشتر و طول عمر بیشتر اجزای موتور توربین
 می‌شود.

ریز کردن ابعاد ذرات پیش تغذیه YSZ و کاهش اندازه دانه پوشش سد حرارتی تا ابعاد نانو متری، منجر به کاهش
 هدایت حرارتی، افزایش ضریب انبساط حرارتی، افزایش استحکام و سختی و افزایش چقرمگی می‌گردد. برای لایه
 نشانی نانو پوششهای سد حرارتی بکار رفته در تجهیزات نیروگاهی، بیشتر از روش پاشش پلاسما و EBPVD¹ استفاده
 می‌شود. روش‌های ریز کردن ابعاد ذرات در شکل ۳-۱۴ قابل مشاهده است.



¹ Electron Beam Physical Vapor Deposition

شکل ۳-۱۴- روش‌های ریز کردن ابعاد ذرات پیش تغذیه YSZ

مطابق آنچه گفته شد، پوشش‌های سد حرارتی با ضخامت ۲ میکرو متر تا ۲ میلی متر به منظور محافظت اجزا در برابر بارگذاری‌های حرارتی بلند مدت با به کارگیری عایق حرارتی، که می‌تواند اختلاف دمای قابل ملاحظه بین آلیاژ بارگذاری شده و سطح پوشش را تحمل کند، استفاده می‌شوند. همچنین این پوشش‌ها عمر خستگی قطعات را با کاهش اکسایش افزایش می‌دهند. در مقایسه با سیستم فیلم خنک کن فعال سیاله کاریه گذرا می‌تواند به دماهایی بالاتر از نقطه ذوب ایر فویل در برخی توربین‌ها برسد. شکل ۳-۱۵ مقایسه عملکرد پوشش و نانو پوشش YSZ را نشان می‌دهد. اهداف مورد انتظار در استفاده از این نانو پوشش عبارت اند از:

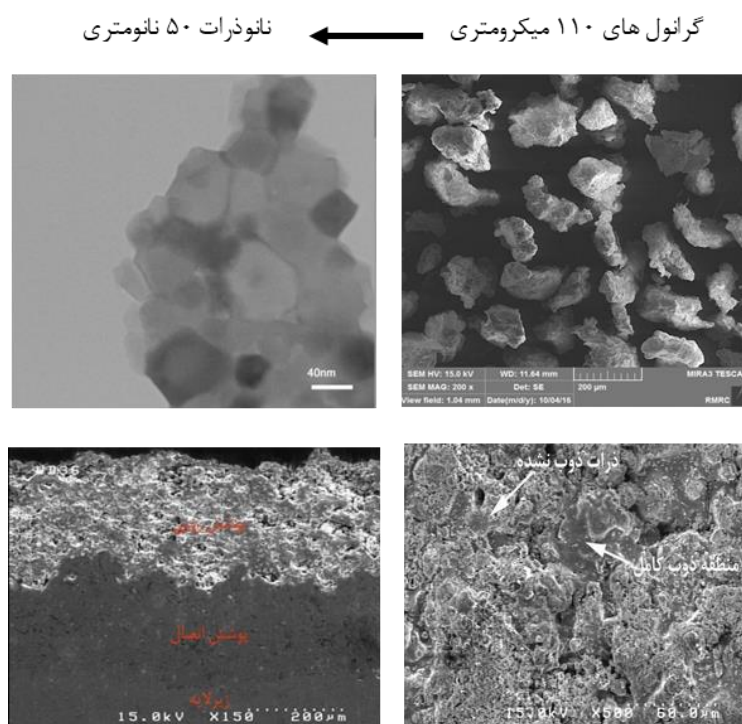
۱. ایجاد نانو ساختارها یک روش امیدبخش برای ساخت TBC های جدید است.
۲. پوشش های سد حرارتی نانو ساختار دارای استحکام اتصال بالا، هدایت حرارتی پایین و طول عمر بلندتر هستند.

۳. TBC های نانو ساختار عملکرد بهتری نسبت به TBC های معمولی دارند.



شکل ۳-۱۵- مقایسه عملکرد پوشش و نانو پوشش YSZ

پوشش سد حرارتی نانو ساختار پاشش پلاسمایی شده که در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شده، دارای یک ریزساختار دوگانه شامل دانه‌های میکروستونی شکل یافته از انجماد بخش ذوب شده پودر و ذرات نانو اندازه باقیمانده از پودر (نانو نواحی) می‌باشد. پوشش YSZ نانوساختار به دلیل حضور نانو نواحی و توانایی کنترل انتشار ترک، استحکام چسبندگی بسیار بالاتری نسبت به پوشش YSZ متداول دارد. شکل ۳-۱۶ ریز ساختار پوشش و نانو پوشش YSZ را مقایسه می‌کند.



شکل ۳-۱۶- مقایسه ریز ساختاری پوشش و نانو پوشش YSZ

در طی آزمون شوک حرارتی برای این پوشش، شکست آن به صورت ورقه‌ورقه شدن در نزدیکی فصل مشترک پوشش رویی- اتصال و اتفاق افتاد. تنش‌های به وجود آمده از عدم انطباق ضریب انبساط حرارتی پوشش رویی سرامیکی و زیرلایه فلزی به عنوان مکانیزم شکست پوشش‌ها تعیین شد. به طور کلی مکانیزم تخریب پوشش‌های سد حرارتی در طی خوردگی داغ را می‌توان به مراحل ذیل تقسیم نمود:

۱. نفوذ نمک مذاب از میان عیوب پوشش
۲. واکنش شیمیایی نمک مذاب با عامل پایدارکننده زیرکینا YSZ
۳. تشکیل کریستال‌های YVO_4 با ساختار میله‌ای
۴. دگرگونی فازی زیرکینای تتراگونال به منوکلینیک
۵. شکست در مقیاس وسیع توسط نفوذ کنترل شده نمک‌های مذاب

در آزمون خوردگی داغ نیز بر خلاف نرخ واکنش بیشتر نمک‌های خورنده با پوشش نانو ساختار و تشکیل کسر حجمی بیشتر فاز منوکلینیک، تخریب پوشش نانو ساختار به دلیل خواص مکانیکی بهبود یافته حاصل از حضور نانو نواحی در پوشش کمتر اتفاق می‌افتد. خواص پوشش YSZ نانو ساختار و جدول مشخصات فنی این محصول در مقیاس آزمایشگاهی در جدول ۳-۹ قابل مشاهده است.

جدول ۳-۹- خواص پوشش YSZ نانو ساختار و جدول مشخصات فنی آن

عنوان مشخصه	مقدار
ضخامت لایه/لایه ها	Bond Coat: $200 \pm 50 \mu m$ Top coat: 300 ± 50

چسبندگی	36 MPa
سختی	11.64 GPa
مدول الاستیک	141.66 GPa
دمای کاری پوشش	1150-1300 °C
مقاومت به شوک حرارتی (تعداد سیکل)	326

۳-۳-۵- سیستم تصفیه پساب نیروگاهی از فلزات سنگین از طریق غشاهای نانوساختار

در بویلرهای تولید کننده بخار نیروگاه های بخار و سیکل ترکیبی آب تغذیه با خلوص بسیار بالا مورد نیاز است. برای به حداقل رساندن خطر خوردگی لوله‌های دیگ بخار و رسوب‌های زیاد باقیمانده در سطح لوله‌ها و برای تهیه بخار لازم، می‌بایستی میزان رسوب در آب ورودی نیروگاه کنترل شود. این کنترل معمولاً توسط روش‌های، نصب واحد تصفیه مایعات به طور جزئی و یا کامل برای به حداقل رساندن ناخالصی‌های احتمالی خورنده موجود در آب ورودی، در صورت لزوم، تصفیه آب ورودی برای کنترل کردن رسوب ذرات معلق نامحلول و پایین بردن میزان آن‌ها. آب خروجی نیروگاه که حاوی مواد خطرناک برای محیط‌زیست است نیز باید تصفیه و سپس رها شود.

آب تغذیه با خلوص بالا موجب کاهش میزان مصرف مواد شیمیایی و در نتیجه کاهش دفعات بلودان^۱ و کاهش مصرف سوخت خواهد. در این میان کاهش ناخالصی‌های موجود در آب تغذیه بویلر سبب کاهش تشکیل رسوب و تقلیل میزان ته نشینی مواد در سطوح انتقال حرارت خواهد گردید. بعلاوه پایین بودن میزان ناخالصی‌های آب سرعت خوردگی در بویلر را نیز کاهش می‌دهد. هنگامی که بویلرها برای به گردش در آوردن توربین بخار بکار روند خلوص بالای آب تغذیه در کاهش سایش پره‌های توربین نقش خواهد داشت. رسوبات سیلیکات‌ها و مواد کلئیدی کارایی بویلر را کاهش داده و موجب خرابی ناپهنگام توربینها می‌شود.

اولترافیلتراسیون می‌تواند سیلیس‌های کلئیدی و آهن و آلومینیوم غیر محلول را به میزان بیش از ۹۹ درصد جداسازی نماید. همچنین کاهش ذرات جامدات معلق و کربن آلی کل، کارایی بویلر و توربین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ولی در استفاده از تکنولوژی‌های غشایی متداول مشکلات اساسی در خصوص گرفتگی غشاها توسط مواد غیر محلول و قابل ته نشینی بروز می‌نماید. برای تصفیه آب تغذیه بویلر، بسته به موارد نیاز آن، تعدادی از فرآیندها را می‌توان بکار برد که عبارتند از: تصفیه شیمیایی/کاربرد آهک، فیلتراسیون دابل، جذب توسط کربن، غشاهای اسمز معکوس و پالایش نهایی به کمک رزینهای تبادل یونی. پساب قابل توجهی از عملیات مذکور تولید می‌گردد که می‌تواند شامل کربن مصرف شده و مواد شیمیایی مصرفی برای عملیات احیای رزینهای تبادل یونی باشند.

استفاده از اسمز معکوس در سیستم پالایش و خالص سازی آب تغذیه موجب کاهش دفعات احیاء رزینهای تبادل یونی و در نتیجه کاهش استفاده از مواد شیمیایی می‌شود. یک سیستم کامل تصفیه آب که شامل اسمز معکوس و تعویض یونی است، نوعاً موجب کاهش هزینه‌ها در مقایسه با سیستمی است که از اسمز معکوس استفاده نمی‌کند. ولی استفاده از سیستمهای اسمز معکوس متداول نیاز ضروری به استفاده از واحدهای پیش تصفیه آب دارند که خود پر هزینه می‌باشند.

نانوفیلتراسیون فرآیند غشایی جدیدی است که خواص جداسازی آن بین فرآیندهای اسمز معکوس و اولترافیلتراسیون می‌باشد. در اولترافیلتراسیون ذراتی از ۰/۱ تا ۰/۰۱ میلی متر قابل جدا شدن هستند، در حالیکه در نانوفیلتراسیون ذراتی با اندازه‌های ۰/۱ تا ۰/۰۰۱ میلی‌متر قابل جدا شدن هستند. نانوفیلتراسیون فرآیند نوینی است که به علت

¹ Blowdown

کارایی در اختلاف فشار نسبتاً پایین، بازیابی خوب و میزان دفع مناسب جایگاه ویژه‌ای را در زمینه جداسازی به خود اختصاص داده است.

در زمینه تصفیه آب و پساب به دلیل استفاده از غشاهای باردار می‌توان از این روش بهره گرفت. این فرآیند جایگزین مناسبی برای فرآیندهای اولترافیلتراسیون، اسمز معکوس، تبادل یونی و آهک‌زدایی به شمار می‌رود. خالص سازی با این فرآیند نیاز به مواد شیمیایی نداشته و از نظر اقتصادی به صرفه است. پساب تولیدی فشرده و غلیظ بوده، لذا هزینه حمل و نقل و دفع آن کمتر است. سیستم به تجهیزاتی به نام CIP مجهز است که به کمک آن غشاها بطور خودکار تمیزکاری می‌شوند. در این فرآیند تصفیه بوسیله اعمال اختلاف فشاری در دو سمت یک غشاء، صورت می‌پذیرد و مولکولهای کوچک مورد نظر ورودی به غشاء از آن عبور می‌نمایند و جداسازی مولکولهای بزرگتر (روغن، گریس، سختی، ویروس، باکتری، ...) صورت می‌گیرد. به علت عمل نمودن در فشار پایین و بازیابی بیشتر، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری در این فرآیند خیلی پایین تر از فرآیندهای مشابه است. همچنین هزینه پمپ، لوله و مخزن در فشار پایین کاهش چشمگیری داشته، لذا سرمایه‌گذاری کمتری نیاز دارد.

در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی آب چاه با فرایندهای مناسب مانند ستون فیلتر شنی، کربن اکتیو، جداسازی غشائی و تبادل یونی تصفیه می‌شود تا به کیفیت مورد نظر و استاندارد استفاده در نیروگاه‌ها برسد. آب تصفیه شده (غالباً بدون یون) در حین استفاده بدلیل تماس با آلاینده‌هایی نظیر روغن و مواد روغنی ناشی از روغنکاری توربین‌ها آلوده شده و پساب ایجاد شده قابلیت استفاده مجدد و یا تخلیه به محیط زیست را ندارد. مواد روغنی موجود در پساب پایداری زیادی داشته و تجزیه آنها در محیط زمانبر است.

پساب روغنی حاضر پس از تخلیه و اختلاط با سایر پسابها که احتمالاً شرایط نسبتاً ساده ای برای تصفیه دارند باعث دشواری تصفیه آنها شده و عملاً کار تصفیه غیر ممکن می‌شود. در حال حاضر در نیروگاهها حجم بسیار زیادی از پساب به گودال انتقال یافته و در آنجا تبخیر می‌شود. با تبخیر این پساب ذرات جامد آلاینده موجود در آن توسط باد به اطراف پراکنده و مشکلات زیست محیطی ایجاد می‌کنند. با بکارگیری این محصول پساب روغنی براحتی تصفیه شده و از آلودگی بیشتر جلوگیری خواهد شد.

نتایج فاز آزمایشگاهی با استفاده از پایلوت پکیج آزمایشگاهی با ظرفیت ۵۰ لیتر بر ساعت همانطور که در جدول ۳-۱۰ نشان داده شده اثبات می‌کند با استفاده از این فرایند براحتی می‌توان پساب روغنی را کاملاً تصفیه نمود و ویژگی‌های پساب را به آب قابل استفاده برای آبیاری تبدیل نمود.

جدول ۳-۱۰- خواص غشاهای نانوساختار جهت تصفیه پساب نیروگاهی از فلزات سنگین و جدول مشخصات فنی آن

عنوان آزمایش	واحد	نتایج نمونه پساب نیروگاه		استاندارد آبیاری
		قبل از تصفیه	بعد از تصفیه	
کدورت	NTU	۷۳	۵/۴	۶۰
PH	-	۵	۸	۶-۹
کل جامدات محلول در (°C ۱۸۰)	mg/lit	۱۰۶	۱۷۱	-
کل مواد معلق در (°C ۱۰۵-۱۰۳)	mg/lit	۹۰	۹	۱۰۰
اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD ₅)	mg/lit O ₂	۳۵۰	۴	۱۰۰
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)	mg/lit O ₂	۱۴۷۶	۳۰	۲۰۰
کل کربن آلی (TOC)	mg/lit	۷۸۰	۱۳	-
چربی و روغن (TOG)	mg/lit	۹۶۰	۰/۷	۱۰

۳-۳-۶-روانکارهای نانو ساختار

روانکار ماده‌ای است که با قرار گرفتن بین دو سطح، باعث پایین آمدن نیروی مقاومت در برابر حرکت یا نیروی اصطکاک بین آنها و در نتیجه کاهش نیروی لازم برای شروع و ادامه حرکت نسبی سطوح می‌گردد. چنانچه بتوان بطور مطلق از تماس سطوح دارای حرکتی نسبی با یکدیگر جلوگیری نمود، دراین صورت امکان ازمیان برداشتن اصطکاک و سائیدگی وجود دارد. بنابراین وظیفه اصلی یک روانکار از بین بردن اصطکاک و سائیدگی است. با استفاده از روانکارهای نانو ساختار می‌توان ضمن ارایه کارکرد بهتر قطعات، از فرسودگی زودرس آنها جلوگیری کرد و هزینه های تولید را کاهش داد.

نانو ذرات به دلیل اندازه کوچک خود می‌توانند فواصل میکروسکوپی بین سطوح درگیر را پر کنند و باعث کاهش اصطکاک شوند. از جمله این روانکارها می‌توان به نانوذرات الماس اشاره کرد. نانو الماس توزیع شده در روانکار، لایه نازکی بر روی سطح تماس ایجاد می‌نماید. با اضافه کردن پودر نانو الماس به مقدار ۰/۵ درصد وزنی در روغن های روانکار، می‌توان ضریب اصطکاک سطوح درگیر را کاهش داد. نانو ذرات الماسی ذراتی کروی شکل و فوق العاده سخت می باشند که در سطوح درگیر حرکت چرخشی پیدا می کنند. لذا استفاده از این روانکارها کاهش اتلاف انرژی را در پی خواهد داشت.

با بکارگیری نانوروغن‌های روانکار علاوه بر روانکاری بی نقص و انتقال حرارت با راندمان بالا، امکان ترمیم سطوح آسیب دیده نیز وجود دارد. نانو روغن‌ها مخلوط دو فازی از نانو ذرات با اندازه کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر می باشند که در یک سیال پایه، پخش شده اند. نانو روغن‌ها، به خاطر داشتن خصوصیات روانکاری و انتقال حرارتی برجسته، بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. ، خصوصیات مورد انتظار از نانو روغن ها با توجه به کاربری آن متفاوت است. در صورتیکه کاربری نانو روغن ها در خنک کاری مد نظر باشد، عواملی از جمله هدایت حرارتی، پخش یکنواخت نانو ذرات در روغن و پایداری در برابر حرارت حائز اهمیت است. همچنین عواملی از جمله ضد خوردگی، ضد سایش، بهبود گرانش و ... نیز حائز اهمیت است.

امروزه نانو ذرات مختلفی از جمله فلزات، پلیمرها و سرامیک ها در افزودن به روغن مطرح هستند. با توجه به اینکه نانو ذرات سرامیکی (از جمله نانو ذرات الماس، نانو ذرات آلومینا و ...) دارای ویژگی های منحصر به فردی هستند که از آن جمله می توان به مقاومت حرارتی بالا، قابلیت پخش شدن عالی، قابلیت پوشش دهی مناسب و هدایت حرارتی بالا اشاره نمود به همین دلیل بیشتر مورد توجه هستند. یکی دیگر از پارامترهای حائز اهمیت نانو ذرات سرامیکی پایدار بودن آنها و سازگاری بالای آنها با محیط زیست است.

علیرغم توسعه و پیشرفت مطلوب در روانکارها، سالانه میلیاردها دلار در بسیاری از صنایع و وسایل نقلیه موتوری به دلیل اصطکاک موتورهای هدر می‌رود. بنابراین، نیاز عمده ای به توسعه‌ی کارآمدتر و موثرتر روانکارها وجود دارد. بسیاری از افراد با استفاده از نانومواد، روانکارها را اصلاح کردند که به نظر می‌رسد آینده روشنی داشته باشد. طی چند دهه گذشته پیدایش فناوری نانو زمینه ساز انجام مطالعات تجربی زیادی در زمینه استفاده از نانوذرات به عنوان مواد افزودنی روانکار (همچنین معروف به نانوروانکارها) شده است.

در نهایت مشخصات کلی نانوروانکار تهیه شده در مقیاس آزمایشگاهی، در جدول ۳-۱۱ آورده شده است:

جدول ۳-۱۱- جدول مشخصات فنی محصول نانو روانکار ICNR

الف - مشخصات عمومی						
ICNR additive		Unit	Test Item		Standard	
212		°C	Flash point		D92	
248		°C	Fire point		D92	
-9		°C	Pour point		D97	
34.69		mm²/s	Kin.Vis.at 40 °C		D7042	
5.676		mm²/s	Kin.Vis.at 40 °C		D7042	
0.038		mgKOH/g	Total acidity		D947	
ب - مشخصات عملکردی						
هدایت حرارتی						
Stdv		Average	K(W/m.k)		T(°C)	
0.001		0.320	0.318	0.321	0.321	25
0.001		0.345	0.345	0.345	0.346	35
0.001		0.364	0.362	0.366	0.366	45
عملکرد سایشی						
مقدار	واحد	ایتم اندازه گیری شده	مشخصه اصلی آزمون		استاندارد	آزمون
0.45*	mm	میانگین قطر سایش	40kg,60min,1500rpm		D551078	چهار ساچمه
0.07**	μ	ضریب اصطکاک	10N,1000m,100rpm			آزمون pin on disk

0.75	*روانکار پایه:
0.11	**روانکار پایه:

صنعت برق نیز در بخش تولید، از جمله مصرف کننده های مهم روانکارهای صنعتی است. لذا توجه به کیفیت روانکارهای مصرفی کاهش هزینه های قابل توجهی را به دنبال خواهد داشت.

صنعت برق با سه چالش «هزینه بالای تولید»، «تولید نسبتاً غیربهرینه» و «قیمت مصرف پایین» روبرو است. مصرف روانکار مناسب میتواند با توجه به دلایل زیر در کاهش هزینه تولید کمک کند.

- کاهش مصرف برق توربین در پی کاهش سایش قطعات فلزی در گیر
- کاهش مصرف سوخت
- افزایش عمر قطعات مصرفی که روانکاری میشوند در اثر کاهش سایش
- کاهش دمای کارکرد توربین
- کاهش وارنیش حین کار توربین

۳-۷- افزودنی نانوسیال خنک کننده نیروگاهی

یکی از نیازهای اساسی در نیروگاه‌های حرارتی و بسیاری از صنایع مشابه داشتن محیط‌های انتقال حرارت با راندمان بالا است. سرمایش و گرمایش سیالات برای بسیاری از فرآیندهای صنعتی شامل منابع حرارتی، فرآیندهای تولیدی، حمل و نقل و الکترونیک نقش مهمی دارد و روش‌های زیادی برای افزایش نرخ انتقال حرارت در این فرآیندها گزارش شده‌اند. اساس بیشتر این روش‌ها بر مبنای تغییرات در ساختار تجهیزات، نظیر افزایش سطوح حرارتی (پره‌ها)، لرزش سطوحی حرارتی، تزریق یا مکش سیال و اعمال جریان الکتریکی یا مغناطیسی متمرکز می‌باشند. این روش‌ها به سختی می‌توانند از عهده تقاضای روز افزون انتقال حرارت و فشرده‌سازی در تجهیزاتی شامل تراشه‌های الکترونیکی، سیستم‌های لیزری و فرآیندهای با انرژی بالا برآیند. در این میان یک راهکار مهم، تاثیر ضریب انتقال حرارت سیالات در توسعه تجهیزات انتقال حرارت با بازدهی بالاست. محیط‌های انتقال حرارت معمولاً از سیالاتی نظیر آب، اتیلن گلیکول یا روغن تشکیل شده‌اند. این سیالات ضریب انتقال حرارت بسیار پایینی در مقایسه با فلزات و حتی اکسیدهای فلزی دارند. بنابراین انتظار می‌رود سیالاتی که بصورت سوسپانسیون شامل نانو ذرات معلق ترکیبات فلزی یا اکسیدی باشند در مقایسه با سیالات خالص، خواص حرارتی بهتری از خود نشان دهند.

نانوسیال‌ها یک سوسپانسیون حاوی نانو ذرات معلق از مواد فلزی یا غیر فلزی هستند که می‌توانند مشکل ضریب هدایت حرارتی پایین سیالات متداول را بهبود بخشند. خواص فیزیکی سیالات با افزودن نانوذرات به سیال پایه، تغییر می‌کند. این چهار خاصیت عبارتند از: چگالی، ویسکوزیته، ضریب هدایت حرارتی و گرمای ویژه. به طور کلی افزودن نانوذرات باعث افزایش چگالی، ویسکوزیته و ضریب هدایت حرارتی سیالات شده ولی گرمای ویژه با افزودن نانوذرات کاهش می‌یابد. درصد این تغییرات به عوامل مختلفی از جمله جنس و ترکیب نانو ذرات، درصد حجمی نانوذرات، خواص نانوذرات، خواص سیال پایه و دما بستگی دارد. از این رو جایگزین کردن نانوسیالات بجای سیالات متداول در سیستم‌های مختلف برای بهینه‌سازی خواص سیال بسیار مورد توجه قرار گرفته و موجب ایجاد کاربرد های متنوعی برای نانوسیالات شده است. از سوی دیگر به دلیل وابستگی خواص نانوسیال به غلظت نانوذرات در سیال پایه، با تغییر غلظت نانوذرات، خواص نانوسیال قابل تنظیم است. سیالات معمولی یا سیالات حاوی میکرو ذرات دارای مشکلاتی نظیر رسوب یا ته‌نشین شدن ذرات^۱، سائیدگی^۲ مسدود کردن لوله‌ها^۳ و افزایش افت فشار در مجرای سیال^۴ هستند. نانوسیالات کاربردهای متنوعی دارند که عمدتاً کاربرد نانوسیالات را به دو بخش انتقال حرارت و انتقال جرم می‌توان تقسیم نمود. بیشتر کاربردهای صنعتی نانوسیالات مربوط به مباحث سرمایش و گرمایش است که زیر مجموعه موضوع انتقال حرارت است و کاربرد نانوسیالات در بخش انتقال جرم بیشتر مربوط به مباحث دارویی و پزشکی می‌باشد. علاوه بر خواص مطلوب، پایداری نانوسیال، روش تهیه نسبتاً آسان آن و ویسکوزیته قابل قبول باعث شده تا نانوسیالات به عنوان یکی از مناسب‌ترین و قوی‌ترین انتخاب‌ها در زمینه پدیده‌های انتقال جرم و انتقال حرارت در سیستم‌های خنک کننده باشند. یکی از کاربرد های مهم نانو سیالات بکارگیری آنها در سیستم های خنک کننده نیروگاه های تولید برق حرارتی می باشد. ضریب هدایت حرارتی یکی از مهم ترین پارامترهایی است که برای مطالعه انتقال حرارت مورد بررسی قرار میگیرد. تحقیقات موجود نشان می دهد که افزودن درصد کمی از نانوذرات می تواند باعث افزایش چشمگیر ضریب هدایت حرارتی نانوسیال نسبت به سیال پایه گردد. ضریب هدایت حرارتی نانوسیال به پارامترهایی از جمله: جنس و ترکیب شیمیایی نانو ذرات و ترکیب شیمیایی سیال پایه، درصد حجمی نانو ذرات، شکل و اندازه ذرات، مواد فعال سطحی، دما و ... بستگی دارد. مکانیزم های مختلفی برای توجیه افزایش ضریب هدایت حرارتی نانوسیالات

¹ Sedimentation

² Erosion

³ fouling

⁴ pressure drop of the flow channel

نسبت به سیال ارائه شده اند که می توان به دو مکانیزم حرکت براونی نانوذرات درون سیال و کوپل شدن نانو ذرات اشاره نمود. در مکانیزم اول، به علت حرکت براونی نانوذرات درون سیال، اختلاط در سیال افزایش پیدا کرده و در نتیجه انتقال حرارت آسان تر صورت گرفته و ضریب هدایت حرارتی افزایش می یابد. در مکانیزم دوم با وجود اهمیت حرکت براونی در نانوسیالات، کوپل شدن بین ذرات مسئول افزایش ضریب هدایتی می باشد. در این حالت چون نانوذرات اصولاً از جنس فلزات یا اکسید فلزات هستند که ضریب هدایتی آنها در مقایسه با سیالات پایه مثل آب یا روغن بیشتر است، در صورتی که نانوذرات به هم چسبیده و زنجیره هایی ایجاد کنند، انتقال حرارت از طریق این زنجیرها سریع تر صورت می گیرد و در نهایت مجدداً انتقال حرارت آسان تر صورت گرفته و ضریب هدایت حرارتی افزایش می یابد.

نانوسیال دارای دو جزء اصلی سال پایه و نانو ذرات است. سیال پایه، سیالی است که به آن نانوذرات افزوده می شود که معمولاً سیال پایه یکی از انواع سیالات حامل انرژی مثل آب- اتیلن گلیکول و یا یکی از انواع روغن ها است. نانوسیالات از توزیع ذرات با ابعاد نانو در سیالات معمولی ایجاد می شوند. این ذرات دارای اندازه کمتر از ۱۰۰ نانو متر هستند و معمولاً از جنس ذرات فلزی همچون مس (Cu)، نقره (Ag) و یا اکسید فلزات همچون اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) اکسید مس (CuO) و یا نانوساختارهای کربنی نظیر نانولوله های کربنی، گرافن یا فولرن می باشند. عملکرد ذرات نانو متری در مقایسه با ذرات بزرگتر میکرومتری یا میلی متری بسیار بهتر است از سوی دیگر، ذرات بزرگ در مقیاس میلی یا میکرو، مشکلات جدی در تجهیزات انتقال حرارت ایجاد می کنند. به طوری که این ذرات به سرعت در سیستم ته نشین می شوند و در صورتیکه کانال از قطر کمتری برخوردار باشد موجب گرفتگی و خوردگی لوله ها خواهد شد. به طور مثال در هنگام عبور از میکروکانال های کلوخه شده و باعث گرفتگی مسیر می گردند که در نتیجه افت فشار زیادی ایجاد می کنند، همچنین برخورد این ذرات با یکدیگر و با دیواره سیستم و تجهیزات ایجاد سایش می کند. در نتیجه یک فاکتور مهم در آزمون و بازرسی نانوسیالات بررسی و پایش اندازه ذرات مورد استفاده در آنها می باشد. نانو ذرات به دلیل اندازه کوچک ذرات و کسر حجمی پایین مورد استفاده مشکلاتی نظیر کلوخه شدن و افت فشار سیال را تا حد زیادی حل می کند. علاوه بر این نسبت سطح به حجم بالا نانوذرات، پایداری ذرات را افزایش داده و مسئله ته نشینی را کاهش می دهد و هزینه های لازم برای نگه داری و انتقال سیالات را کم می کند. در نتیجه نیاز است تا پیش از مصرف نانوسیالات پایداری آنها مورد بررسی قرار گیرد. مهم ترین عوامل تأثیرگذار در پایداری نانوسیالات عبارتند از روش سنتز، غلظت نانوذرات، میزان و نوع پخش کننده ها و مواد فعال سطحی، ویسکوزیته سیال، مقدار pH، نوع نانوذرات، قطر نانوذرات و زمان اولتراسونیک.

در سال های اخیر نانوفناوری به یکی از مهمترین زمینه های پیشرو در علم تبدیل شده و نوید بخش آن است که در گستره وسیعی از کاربردها جهت گیری پیشرفت های فنی را تغییر خواهد داد. استفاده از سیالات حاوی نانوذرات مختلف به دلیل بهبود خواص سطحی، افزایش راندمان، کاهش انرژی مصرفی و کاهش هزینه تعمیرات بسیار جذاب و مورد توجه می باشد. بهبود عملکرد سامانه های حرارتی نیروگاهی با استفاده از نانوسیالات در پروژه حاضر انجام شد. برای این منظور و برای اولین بار استفاده از نانوذرات کربن کوانتوم دات در دستور کار قرار گرفت. کربن کوانتوم دات ها دارای مزایای منحصربفردی از قبیل سمیت کم، دوستدار محیط زیست، هزینه پایین و روش های ساده سنتز هستند. اساساً نانو سیالات مخلوط های جامد-مایعی هستند که از پراکنده سازی ذرات جامد با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر درون یک سیال پایه به دست می آیند. به صورت تئوریک مشخص شده است هرچقدر ذرات ریزتر باشند، سطح انتقال حرارت آنها بیشتر می شود، بطوریکه برای ذره ای با قطر ۱۰ نانومتر نسبت سطح به حجم آن ۱۰۰۰ برابر ذره ای با قطر ۱۰ میکرومتر می باشد، در نتیجه بازده حرارتی ذرات معلق که تابعی از سطح انتقال حرارت می باشد، با کاهش اندازه ذرات

افزایش می‌یابد. محیط‌های انتقال حرارت رایج معمولاً از سیالاتی مانند آب، اتیلن گلیکول و انواع روغن‌ها تشکیل شده است که ضریب هدایت حرارتی پایینی در مقایسه با نانو ذرات دارند. به عنوان مثال ضریب هدایت حرارتی مس در دمای محیط ۷۰۰ برابر ضریب هدایت حرارتی آب و ۳۰۰۰ برابر ضریب هدایت حرارتی روغن موتور می‌باشد. بنابراین می‌توان با افزودن نانو ذرات به سیالات حرارتی مرسوم بدون نیاز به تغییر در طراحی سامانه‌های مکانیکی نسبت به ارتقای عملکرد آنها اقدام نمود. در حال حاضر بخش صنعت با چالش‌های فنی مهمی دست به گریبان است که منجر به کاهش تولید و افزایش هزینه‌ها می‌گردد. برخی از این چالش‌ها عبارتند از:

- پایین بودن ضریب هدایت حرارتی و قابلیت انتقال حرارت سیالات مرسوم مورد استفاده (آب و اتیلن گلیکول)،
- راندمان پایین سامانه‌های انتقال حرارت که منجر به افزایش مصرف انرژی می‌گردد،
- نیاز صنعت به استفاده از سامانه‌های جدید با راندمان بالا جهت کاهش هزینه‌ها،
- ایجاد خوردگی و بروز آسیب‌های مکانیکی در سامانه‌های انتقال حرارت با گذشت زمان،
- لزوم کاهش مصرف آب برای تولید برق،
- وجود تحریم‌های اقتصادی و لزوم ارتقای سامانه‌های موجود.

بنابراین با توجه به تعدد مشکلات موجود در صنایع انرژی‌بر کشور بویژه در حوزه صنعت برق، بکارگیری یک روش مؤثر برای صرفه‌جویی انرژی و افزایش راندمان تولید از نیازهای کلان ملی به شمار می‌آید. با توجه به مزایای عمده استفاده از نانو سیالات در صنایع و صرفه‌جویی قابل توجه مصرف انرژی، بنابراین فناوری نانوسیالات می‌تواند به این مهم دست یابد و بخش مهمی از مشکلات موجود در مسیر پیشرفت صنعت برق را با تکنولوژی بومی و هزینه پایین مرتفع نماید. محصول نانوسیال معرفی شده در این بخش قابلیت کاربرد در انواع مبدل‌های حرارتی، برج‌های خنک‌کن، رادیاتورها، هیترها و سایر انواع سامانه‌های انتقال حرارت را دارا می‌باشد. مشخصات فنی نانوسیال تولیدی در جدول ۳-۸ ارائه شده است.

جدول ۳-۱۲- مشخصات نانوسیال آب/ضد یخ بهران با نسبت ۳۰/۷۰

مشخصه	مقدار (واحد)
ترکیب نانوسیال	آب عملیاتی در مبدل + نانو ذرات
مورفولوژی نانو ذرات	کروی
ساختار نانو ذرات	کربنی
اندازه نانو ذرات	۱ تا ۱۰ نانومتر
غلظت نانو ذرات در سیال پایه	0.1 wt. %
محدوده دمای کاری نانوسیال	-20 up to 100 °C
ویسکوزیته سینماتیکی نانو سیال (۳۰°C)	1.7 mm ² /s
pH	7.3
ضریب هدایت حرارتی (۳۵°C)	0.52 W/mK
دانسیته	1.04 g/cm ³
(C _p) ظرفیت حرارتی ویژه (۳۰°C)	3.97 Kj/kg.°C
پتانسیل زتا	-55 mv

فصل چهارم: انتخاب سایت / پایگاه‌های تحقیقاتی برای انجام آزمون پایلوت

۱-۴- مفهوم پایلوت

ارائه راهکارهای جدید برای مبارزه با خسارت‌های ناشی از آلودگی و خوردگی مستلزم تعیین دقیق شرایط منطقه و انتخاب مواد یا نانو مواد، متناسب با شرایط کاری می باشد. لذا می بایست ملاحظات لازم در خصوص انتخاب مواد مناسب با شرایط موجود در نظر گرفته شود که متأسفانه این امر اغلب منظور نشده و سبب وارد آمدن مقادیر قابل توجهی خسارت به صنعت برق کشور شده است. جلوگیری از چنین مواردی را می توان با یک سری فعالیتهای پیشگیرانه در فرآیند تولید و یا اصلاح تجهیزات به حداقل رسانید.

«پایلوت» مطالعه یا بررسی است که به صورت مقدماتی و در مقیاس کوچک پیش از اجرای طرح اصلی انجام می شود تا امکانپذیری طرح، ارزیابی شده و یا نحوه اجرای طرح بهبود داده شود. اغلب، طرح های پایلوت پیش از اجرای طرح های کلان اجرا می شوند، با این هدف که از اتلاف منابع زمان و هزینه بر روی طرح هایی که هنوز کامل نیستند، خودداری شود. در طی اجرای پایلوت یک طرح، نواقص و مشکلاتی که در اجرا وجود دارد، شناسایی و بررسی می شود تا بتوان طرح مطالعه اصلی را تکمیل کرد. فواید اجرای طرح به صورت پایلوت را می توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱. موانع پنهان و قیودی که توانایی سیستم را در دستیابی به اهداف مورد انتظار محدود می کند، شناسایی می شود.

۲. امکان نظارت و کنترل بر توانایی کاربران در انطباق با وضعیت جدید فراهم می‌شود.
۳. گزینه خیلی خوبی برای ارزیابی عملکرد سیستم است، چون پایلوت با سرعت بیشتر و هزینه کمتر قابل اجراست.

اجرای یک طرح به صورت پایلوت این امکان را به مجریان می‌دهد تا فرآیند اجرای طرح در ابعاد کوچکتر را با دقت رصد کنند و پس از آشنایی با موانع و نارسایی‌های طرح و اصلاح و تکمیل آن، با آمادگی بیشتر طرح اصلی در ابعاد وسیع به اجرا گذاشته شود. اجرای یک طرح به صورت پایلوت همچنین، به فراهم شدن برخی زمینه‌های لازم برای پذیرش طرح در صنعت نیز کمک می‌کند، به طوری که صنعت بتواند در یک فرآیند تدریجی تغییراتی را که ملزوم اجرای طرح است بپذیرد. از این رو عموماً اجرای طرح‌های پایلوت یکی از اجزای مهم استراتژی اجرای مدیریت دانش در صنایع و سازمان‌ها می‌باشد.

محصولات نانو به کار رفته در نانو پوشش‌ها یا کامپوزیت‌های دارای نانو ذرات تقویت کننده، باید به دو صورت مورد آزمون قرار بگیرند؛ یکی از نظر صحت و اعتبار محصولات خارجی وارد شده در مقایسه با کاتالوگ آن‌ها و دیگری از نظر نحوه عملکرد نانو مواد در شرایط سرویس. از جمله مهمترین اهداف اولیه برای انجام یک طرح پایلوت می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. بررسی و ارزیابی عملکرد محصولات جدید مبتنی بر نانوفناوری بصورت میدانی و تحت بار در شرایط سخت آلودگی و خوردگی و ...
۲. ارتقای کیفیت و استاندارد سازی محصولات نانوفناوری در صنعت برق
۳. صحت سنجی محصولات فناوری نانو در صنعت برق با کاتالوگ آن‌ها
۴. ارائه معیارهای فنی در انتخاب درست محصولات نانو برای بهبود خواص تجهیزات
۵. رفع مشکلات رایج در سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع نیرو
۶. انجام خدمات آزمون و ارائه گواهی تأییدیه عملکرد مناسب محصولات نانو در اصلاح تجهیزات به کار رفته در صنعت برق
۷. مقایسه عملکرد محصولات ارائه شده توسط سازندگان مختلف در دنیا

۲-۴- انتخاب سایت یا پایگاه‌های تحقیقاتی برای انجام آزمون پایلوت

مطابق آنچه در بخش ۳-۳ مطرح شد، پروژه‌های زیر برای انجام پایلوت انتخاب شده‌اند که سایت یا پایگاه تحقیقاتی انتخابی هر کدام در ادامه تشریح شده‌است:

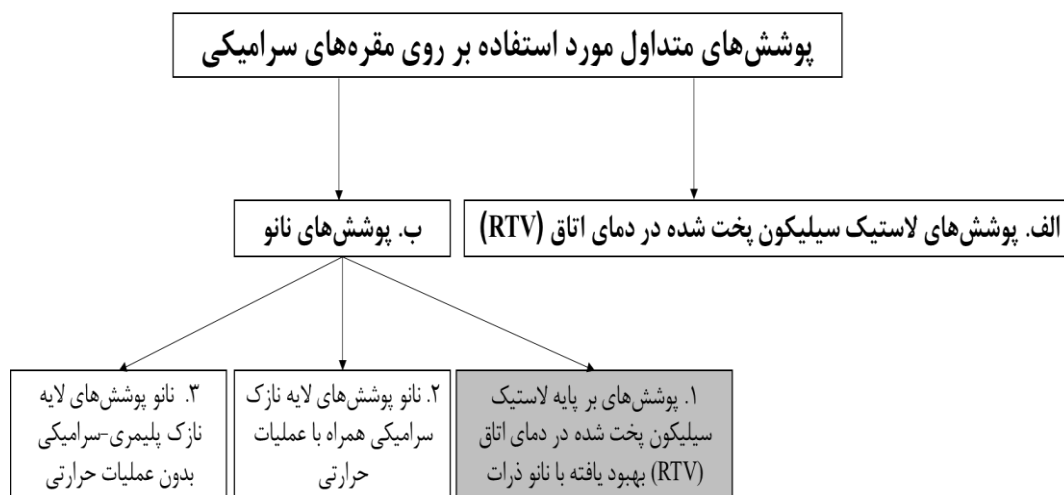
۴-۲-۱- نانو پوشش و رنگ ابر آب‌گریز و ضد گرد و غبار برای تجهیزات عایقی

مسئله‌ی آلودگی، یکی از بزرگترین مشکلات ایزولاسیون خطوط انتقال و توزیع برق می‌باشد. تخلیه الکتریکی بر روی مقره‌های آلوده در شرایط مرطوب، تهدیدی جدی برای قابلیت اطمینان شبکه بوده که می‌تواند منجر به خارج شدن شبکه و خاموشی گردد. یکی از جدیدترین راه‌حل‌ها، استفاده از نانو پوشش‌ها بر روی سطح مقره می‌باشد. نانو پوشش‌های آب‌گریز با ایجاد تغییرات در شیمی سطح و زاویه تماس باعث ایجاد حفاظت سطح زیرین در برابر آلودگی‌های محیطی، تخریب ناشی از اشعه خورشید، تغییرات دمایی و بارش باران می‌گردد. استفاده از این نانو پوشش‌ها می‌تواند جهت رفع یکی از عمده‌ترین نقاط ضعف مقره‌های سرامیکی که عملکرد ضعیف در حضور آلودگی و رطوبت است، مفید

و موثر باشد. اگر سطح مقره با استفاده از نانو پوشش‌ها، آبریز یا فوق آبریز گردد، از وقوع جرقه‌های خشک در سطح مقره در اثر آلودگی جلوگیری خواهد شد. دسته بندی پوشش‌های متداول مورد استفاده بر روی مقره‌های سرامیکی در شکل ۴-۱ آمده است. مطابق این شکل، نانو پوشش‌ها به سه دسته کلی ذیل تقسیم بندی می‌شوند:

۱. پوشش‌های بر پایه لاستیک سیلیکون پخت شده در دمای اتاق (RTV) بهبود یافته با نانوذرات که عموماً ضخامت‌های چند صد میکرونی دارند،
۲. نانو پوشش‌های لایه نازک سرامیکی همراه با عملیات حرارتی (این نوع پوشش عموماً ضخامت نانومتری دارد)،
۳. نانو پوشش‌های لایه نازک پلیمری-سرامیکی بدون عملیات حرارتی.

با توجه به بررسی‌های انجام شده بهترین عملکرد را می‌توان از پوشش‌های بر پایه لاستیک سیلیکون پخت شده در دمای اتاق (RTV) بهبود یافته با نانوذرات که عموماً ضخامت‌های چند صد میکرونی دارند (مورد ۱)، انتظار داشت.



شکل ۴-۱- دسته بندی پوشش‌های متداول مورد استفاده بر روی مقره‌های سرامیکی

۴-۲-۱-۱- پست ازگل

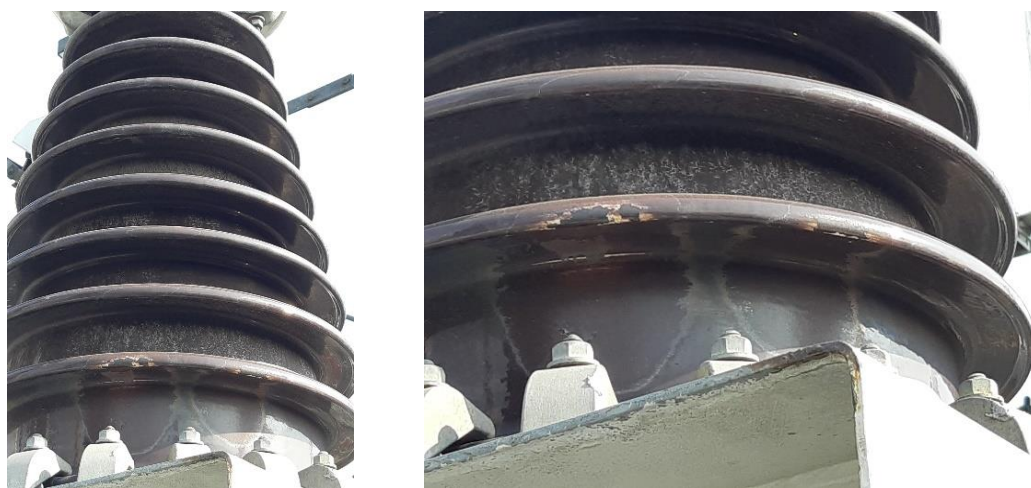
مشاهدات و بررسی‌های کارشناسی در پست ازگل، نشست ذرات آلودگی با سطح متوسط بر روی تجهیزات پست را نشان می‌دهد. این آلودگی‌ها عمدتاً بصورت ذرات گرد و غبار و دوده ناشی از تردد ماشین‌آلات سنگین در ضلع جنوبی پست در فاصله نزدیک کمتر از ۱۰ متری تجهیزات باس و بی‌های خطوط فوق توزیع ۶۳ kv به دلیل مجاورت با ایستگاه پارکینگ ماشین‌آلات سنگین می‌باشد. راهکار اصلی پیشنهادی در مورد پست ازگل، جابجایی پارکینگ ماشین‌آلات سنگین از مجاورت پست است. راهکار دوم برای حل مشکل استفاده از نانو پوشش آبریز بر پایه رزین سیلیکون رابر است که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد. بدین منظور با بازدید به عمل آمده و با در نظر گرفتن شرایط خاموشی خطوط مختلف و فضای موجود برای انجام تست پایلوت سطح ایزولاتور PT در خط محلاتی برای انجام تست پایلوت اعمال پوشش انتخاب گردید.



شکل ۴-۲- تصاویری از پارکینگ ماشین آلات سنگین در مجاورت دیوار جنوبی پست ازگل



شکل ۴-۳- تصویر هوایی پست ازگل نشان دهنده مجاورت تجهیزات باس و بی های خطوط فوق توزیع ۶۳ Kv با ایستگاه پارکینگ ماشین آلات سنگین



شکل ۴-۴- نشست آلودگی بر روی سطح ایزولاتور PT و تخریب سطح بر اثر تشکیل قوس

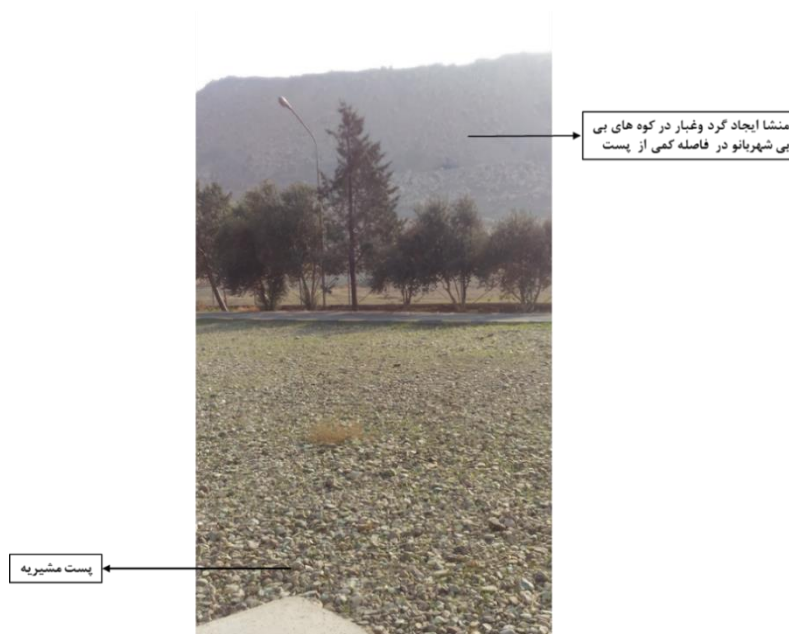


شکل ۴-۵- محل انتخابی برای انجام تست پایلوت پوشش در سطح ایزولاتور PT در خط محلاتی پست ازگل

۴-۲-۱-۲- پست مشیریه

وجود گرد و غبار بسیار زیاد بر روی سطوح عایقی در مشاهداتی که از پست مشیریه به عمل آمده، کاملاً مشهود است. این گرد و غبار ناشی از فعالیت کارخانه سیمان تهران و همچنین فعالیت برداشت از معدن سیمان در کوه بی بی شهربانو است که در فاصله کمتر از ۷۰۰ متری پست مشیریه قرار دارد. با بازدیدهای به عمل آمده و با در نظر گرفتن

شرایط خاموشی خطوط مختلف و فضای موجود برای انجام تست پایلوت سطح برق گیر در خط سعیدیه برای پوشش دهی انتخاب گردید.



شکل ۴-۶- تصویری از فاصله پست مشیریه تا معدن سیمان در کوه بی بی شهربانو



شکل ۴-۷- محل قرار گیری پست مشیریه در نزدیکی کارخانه سیمان تهران و معدن سیمان در کوه بی بی شهربانو



شکل ۴-۸- محل انتخابی برای انجام تست پایلوت پوشش در سطح برق گیر در خط سعدیه پست مشیریه

۴-۲-۱-۳- پست رضوان مشهد

با مشاهدات انجام شده مشخص گردید که پست ۶۳ kV رضوان مشهد در مجاورت کارخانه سیمان مشهد بوده و این امر سبب نشست آلودگی روی مقره‌ها و اختلال در تجهیزات می‌گردد. در شکل ۴-۹ موقعیت مکانی پست رضوان و مجاورت آن با کارخانه سیمان مشهد مشخص شده است. هم‌چنین در شکل ۴-۱۰ تصویر واقعی از محل کارخانه سیمان نسبت به پست برق مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۹- موقعیت مکانی پست ۶۳ kV رضوان مشهد و مجاورت آن با کارخانه سیمان مشهد



شکل ۴-۱۰- همسایگی پست ۶۳ kV رضوان مشهد با کارخانه سیمان مشهد

۴-۱-۲-۴- هرمزگان

با توجه به شرایط محیطی استان هرمزگان و وجود همزمان رطوبت و گرد و غبار، انجام تست پایلوت و اعمال پوشش‌های آبگریز بر روی مقره‌ها و تجهیزات عایقی در این استان در آینده ای نزدیک انجام خواهد شد.

۴-۲-۲-۴- نانو پوشش محافظ بتن

سازه ها و پایه های بتنی از اصلی ترین بخش های سیستم های انتقال و توزیع هوایی در صنعت برق می باشند که خوردگی و فرسودگی آنها هزینه ی هنگفتی را به صنعت وارد می کند. با توجه به نتایج و گزارشات دریافتی گروه مواد غیرفلزی پژوهشگاه نیرو حاصل از بازدید پست نیروگاهی مینی بر فرسودگی و تخریب سازه های بتنی، ضروری است که به مسئله ترمیم و بازسازی این نوع سازه ها توجه ویژه شود. روش های مختلفی برای مسئله ترمیم و بازسازی سازه های بتنی وجود دارد که عبارت اند از:

۱- ملات پایه سیمانی ریزدانه حاوی پلیمر و نانوذرات رس

این نوع ملات تعمیری با پلیمر مقاوم به فرسودگی اصلاح شده که به صورت یک جزئی پس از افزودن آب با نسبت ۴۰٪ با روش ماله کشی بر روی سطوح تخریب شده و حاوی ترک اعمال می شود. ملات مذکور چسبندگی بسیار خوبی داشته و در برابر نوسانات دمایی و نیز کربناسیون مقاوم است. ملات ریز دانه جهت ترمیم و پوشش دهی سطوح بتنی با ترک کمتر از ۵ میلیمتر مناسب می باشد. پلیمر رزینی این ملات از نوع آکریلیک اسید می باشد که در برابر تابش اشعه نور خورشید مقاوم می باشد.

۲- ملات پایه سیمانی درشت دانه حاوی نانوذرات رس

ملات سیمانی فوق از نفوذپذیری کم و مقاومت بالایی برخوردار بوده و به دلیل وجود نانوذرات نسبت به رطوبت و گاز دی اکسید کربن نفوذ ناپذیر می باشد. از ویژگی های این نوع ملات ترمیمی عدم نیاز به لایه پیوندزا و قدرت چسبندگی بالا به سطح زیرین است. ملات مذکور جهت پوشش دهی تخریب عمقی سازه بتنی مناسب بوده و به صورت یک جزئی با نسبت ۳۰٪ آب قابل اجرا است. همچنین قابل ذکر است که روش اعمال این نوع ملات به دو صورت ماله کشی و پاششی در پوشش دهی با ضخامت بالا می باشد.

۳- نانوپوشش آبگریزکننده محافظ بتن پایه رزینی

این نوع ملات به عنوان پوشش پایه اپوکسی به صورت دوجزئی است که چسبندگی بالایی به انواع سطوح دارد. لایه‌ی بالایی، از ورود عوامل مهاجم مانند رطوبت و یون‌های تخریب‌کننده از جمله کلر به درون بتن جلوگیری می‌کند. وجود نانوذرات سیلیس به شکل لایه‌ای بسیار نازک بر سطح ملات، باعث مقاومت بتن در برابر تابش نورخورشید می‌شود.

۴- نانوپوشش بیوپلیمری محافظ

ماده بیوپلیمری نانوساختار توسط یک نوع میکروارگانیسم سنتز می‌شود که به صورت پوشش بر روی سازه اعمال می‌شود. این نوع پوشش خاصیت آنتی باکتریال داشته و همچنین مانع نفوذ کلر و سایر ترکیبات آسیب‌رسان به سازه بتنی می‌شود. از ویژگی‌های این نوع پلیمرزیستی، تولید انبوه با هزینه بسیار پایین‌تر از سایر پلیمرها می‌باشد که استفاده از آن برای صنعت برق از نظر اقتصادی به صرفه می‌باشد.

۵- نانوملات ترمیمی ویژه حاوی پلیمر و الیاف

ترمیم‌کننده بتن ویژه نوعی نانوملات است که به واسطه وجود نانوذرات و پلیمر خاص، چسبندگی بسیار زیادی به پایه‌ها و سازه‌های بتنی داشته و امکان نفوذناپذیر بودن سطح را فراهم می‌کند. این نوع نانوملات مقاومت بالایی در برابر سیکل‌های ذوب و یخبندان دارد و به دلیل وجود الیاف مقاومت مکانیکی بالایی دارد.

۶- نانوملات پرکننده ترک‌های سطحی

این نوع نانوملات به دلیل افزودنی‌های پلیمری و مواد تقویت‌کننده چسبنده و همچنین پرکننده‌های معدنی، به منظور پر نمودن خلل و فرج و رفع ترک‌های ریز سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نانوملات مذکور علاوه بر قابلیت پرکنندگی زیاد، مقاومت بالایی در برابر سیکل‌های ذوب و یخبندان در فصول سال دارد.

۴-۲-۱- پست ازگل

مشاهدات و بررسی‌های کارشناسی در پست ازگل نشان داد که تخریب استراکچرهای بتنی در پست ازگل نسبتاً شدید است و این پدیده جدا از مشکلات ناشی از زمان اجرا می‌تواند به بارندگی‌های زیاد و اختلاف دما در فصل گرم و سرد سال مربوط گردد. که با بکارگیری نانو مواد مناسب می‌توان منطقه را ترمیم نموده و از تخریب بیشتر آن جلوگیری نمود.



شکل ۴-۱۱- تصویر پایه بتنی تخریب شده در پست ازگل

انواع تخریب‌های موجود در پست ازگل به شش دسته تقسیم بندی شدند که به شرح زیر می باشند:

۱. پایه های بتنی با نرخ تخریب بسیار شدید که نیاز به بازسازی مجدد دارند
۲. پایه های بتنی با تخریب سطحی عمیق
۳. پایه های بتنی با تخریب سطحی متوسط
۴. پایه های بتنی با تخریب سطحی کم
۵. پایه های بتنی دارای ترک های سطحی و کرمویی شکل
۶. پایه های بتنی سالم و بدون تخریب



شکل ۴-۱۲- انواع تخریب‌های شناسایی شده در پست ازگل

۴-۲-۲-۲- درگاهان قشم

طبق مشاهدات انجام شده در پست ۶۳ kV درگاهان و ارزیابی میزان خوردگی در آن، با توجه به شرایط آب و هوایی احتمال تخریب پایه‌ها در پست و نیاز به بتن ریزی مجدد آنها بسیار زیاد می‌باشد. به همین دلیل نیاز است تا کل پایه‌های بتنی این پست، جهت ترمیم و آب‌گریز شدن، با استفاده از نانو پوشش‌ها پوشش داده شوند.



شکل ۴-۱۳- تخریب پایه های بتنی در پست درگاهان قشم

۴-۲-۲-۳- خط ری-رجایی-آوینی

مشاهدات انجام شده در خط ۶۳ Kv ری-رجایی-آوینی حاکی از آن است که با توجه به شرایط آب و هوایی در این منطقه، پایه‌های بتنی دکل‌ها در این خط انتقال برق، نیاز به ترمیم و یا تعویض دارند. به همین برخی از این دکل‌ها برای انجام تست پایلوت انتخاب شدند.



شکل ۴-۱۴- تخریب پایه های بتنی سمت غربی دکل خط ۶۳ Kv ری-رجایی-آوینی

۴-۲-۲-۴- پست پرند

وجود ترک در پایه‌های بتنی پست پرند و تمایل شرکت برق منطقه‌ای در این محدوده، این مرکز را گزینه مناسبی برای اعمال پوشش سوپرآبگریز و انجام آزمون پایلوت، گردیده‌است.

۴-۲-۳-۴- جمع‌پروژه‌های نیروگاهی در نیروگاه طرشت

۴-۲-۳-۴-۱- نانو پوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار

یکی از قطعاتی که در صنعت نیروگاهی تحت شرایط خوردگی، سایش و فرسایش قرار می‌گیرد، پره توربین بخار می‌باشد که با استفاده از پوشش‌های نانوساختار امکان حفاظت آنها وجود دارد. از ویژگی اصلی پوشش‌ها، چسبندگی عالی، سختی فوق‌العاده، تراکم بالا و صافی سطح مطلوب است که موجب افزایش عمرکاری توربین و افزایش کارایی و راندمان توربین‌ها خواهد شد.

طبق نتایج تحقیقات آزمایشگاهی بر روی پوشش‌های نانوساختار مقاوم به فرسایش، پوشش نانولایه Ti/TiN در برابر فرسایش برخورد ذرات جامد بیشترین مقاومت را از خود نشان می‌دهد. این در حالی است که بیشترین مقاومت به خوردگی مربوط به پوشش نانوساختار CrN می‌باشد. لذا با توجه به شرایط محیطی و چالش‌های موجود در صنعت، رایزنی برای پایلوت پوشش‌های مقاوم به فرسایش در نیروگاه طرشت در حال انجام است.

۴-۲-۳-۴-۲- نانو پودر سد حرارتی YSZ

پوشش سد حرارتی نانو ساختار پاشش پلاسمایی شده دارای یک ریزساختار دوگانه شامل دانه‌های میکروستونی شکل یافته از انجماد بخش ذوب شده پودر و ذرات نانو اندازه باقیمانده از پودر (نانو نواحی) می‌باشد. پوشش YSZ نانوساختار به دلیل حضور نانو نواحی و توانایی کنترل انتشار ترک، استحکام چسبندگی بسیار بالاتری نسبت به پوشش YSZ متداول دارد. با انجام آزمون‌های آزمایشگاهی، در طی آزمون شوک حرارتی، شکست پوشش به صورت ورقه‌ورقه شدن

در نزدیکی فصل مشترک پوشش رویی- اتصال، اتفاق افتاد. تنش‌های به وجود آمده از عدم انطباق ضریب انبساط حرارتی پوشش رویی سرامیکی و زیرلایه فلزی به عنوان مکانیزم شکست پوشش‌ها تعیین شد. نانو پودر سد حرارتی YSZ هم‌اکنون در پژوهشگاه مواد و انرژی کرج در حال طی مراحل پایلوت می‌باشد.

۴-۲-۳- سیستم تصفیه پساب نیروگاهی از فلزات سنگین از طریق غشاهای نانوساختار

پایلوت پکیج تصفیه پساب مورد نظر پروژه "تصفیه پساب نیروگاهی بر پایه نانوفناوری" یک دستگاه با ابعاد ۱۲۰×۱۵۰ و ارتفاع ۲۰۰ سانتی متر می باشد (شکل ۴-۱۵). پکیج حاضر شامل مخازن خوراک، مخزن اختلاط، مخازن آماده سازی لخته سازها، مخزن ته نشینی، سیستم میکروفیلتراسیون با الیاف نانو، دوزینگ پمپ‌ها، پمپ‌های انتقال، الکتروموتورها و تابلو برق و کنترل. این دستگاه در ساختاری بهم پیوسته با ظرفیت ۵۰۰ لیتر بر ساعت پساب روغنی نیروگاهی را تصفیه می‌کند. خروجی آن آب تصفیه شده‌ای است که قابلیت استفاده مجدد به عنوان آب فرایندی و یا تخلیه به محیط و یا قابلیت استفاده در کشاورزی و باغبانی را دارا می باشد. هر چند در این تحقیق رویکرد پژوهشی است اما پایلوت ساخته شده در این پژوهش قابلیت تصفیه پساب روغنی نیروگاهی را نیز داراست.



شکل ۴-۱۵- دستگاه تصفیه پساب نیروگاهی بر پایه نانوفناوری

۴-۲-۳-۴- روانکارهای نانو ساختار

برای کاهش سایر هزینه‌های انجام پایلوت نظیر مسافرت، یکی از سایت‌های منتخب برای اجرای پروژه در تهران، نیروگاه طرشت (شهید فیروزی) که پیشتر به آلستوم شهرت داشت، می‌باشد. زمینه عمده فعالیت شرکت بهره‌برداری نیروگاه طرشت تولید انرژی الکتریکی است که در طول زمان حوزه‌های فعالیت: مرکز آموزش سیمولاتوری و مرکز توسعه تولید پراکنده (DGPC) به آن افزوده شده است. پیریزی نیروگاه به حدود ۶ دهه قبل برمی‌گردد و هم‌اکنون به‌عنوان قدیمی‌ترین نیروگاه کشور و نمادی از توانمندی صنعت برق کشور در شصت‌مین سال بهره‌برداری مستمر خود قرار دارد. این نیروگاه دارای چهار واحد بخاری آلستوم فرانسه با توان نامی ۱۲/۵ مگاوات است. این نیروگاه که مهد پرورش بسیاری از گردانندگان و نخبگان پیشین و کنونی صنعت برق کشور بود، در گذشته محل استقرار نخستین دیسپاچینگ شبکه سراسری و برخی از دفاتر ستادی و عملیاتی صنعت برق و همچنین مقر طرح‌های توسعه نیروگاه‌ها بوده است. هم‌اکنون نیز به اعتبار قرار داشتن در حوزه شهری تهران و برخی ویژگی‌ها، مطلوب‌ترین مکان برای اجرای طرح‌های پایلوت نیروگاهی به‌منظور اشاعه به سایر نیروگاه‌های کشور است. علاوه بر موارد بالا، علت انتخاب نیروگاه طرشت، کوچک بودن نیروگاه و دارا بودن توربین و کمپرسورهای کوچک هست که میزان مصرف روانکار پایین دارند.

لذا بررسی عملکرد نانو روانکار با مشکل کمتری قابل انجام است. در ضمن محل نیروگاه در تهران واقع شده است و امکان کنترل و بررسی‌های دوره‌ای بیشتر می‌شود.

۴-۲-۳-۵- افزودنی نانوسیال خنک کننده نیروگاهی

مشابه پروژه افزودن نانو روانکار که پایلوت آن در نیروگاه طرشت انجام خواهد شد، پروژه افزودنی نانوسیال نیز با دلایل زیر در همین نیروگاه پایلوت خواهد شد:

۱. دسترسی سریع و آسان برای پایش و داده برداری
۲. وجود سیکل بسته مبدل حرارتی برای تزریق نانوسیال
۳. وجود تجربه قبلی بکارگیری نانوسیالات در نیروگاه طرشت و آشنایی کارشناسان با مفاهیم نانوسیال
۴. وجود سیستم کوچک که مناسب انجام تست پایلوت و ارزیابی سریع می باشد.



شکل ۴-۱۶- سایت نیروگاه طرشت برای انجام پایلوت‌های نیروگاهی

فصل پنجم: بررسی تست‌های قابل انجام برای محصول/فناوری پیش از اجرای پایلوت

۱-۵- نانوپوشش و رنگ ابر آب‌گریز و ضد گرد و غبار برای تجهیزات عایقی

از جمله خواص مورد بررسی می‌توان به خواص مکانیکی (سختی، استحکام کششی و استحکام پارگی)، خواص الکتریکی (استحکام، ثابت و اتلاف دی الکتریک، مقاومت سطحی و حجمی و آزمون ترکینگ)، بررسی کیفیت و یکنواختی پوشش، بررسی ریزساختاری پوشش، بررسی شیمیایی پوشش، بررسی چسبندگی پوشش (آزمون آب جوش)، بررسی آب‌گریزی پوشش (زاویه تماس، کلاس و انتقال آب‌گریزی) و بررسی طول عمر پوشش (آزمون پیرسازی تحت اشعه فرابنفش (UV)) اشاره کرد. این آزمون‌ها مطابق جدول ۵-۱ بر اساس استانداردهای ذکر شده انجام می‌شود.

جدول ۵-۱- آزمون‌های ارزیابی خواص مختلف نانو پوشش ابر آب‌گریز

عنوان مشخصه	مرجع بررسی	واحد	معیار پذیرش
سختی	ASTM D 2240 یا ISO 868	Shore A	≥ 30
استحکام کششی	ASTM D 412 یا ISO 37	N/mm^2	≥ 1.7

≥ 100	%	ASTM D 412 یا ISO 37	درصد ازدیاد طول در پارگی
≥ 6	N/mm	ASTM D 624 یا ISO 34-1	استحکام پارگی
< 4	-	IEC 60250	ثابت دی‌الکتریک (در فرکانس ۵۰ و ۱۰۰ هرتز)
طول ناحیه سوخته $> 100\text{mm}$	mm	IEC 62217	اشتعال پذیری
تحمّل ولتاژ ۳.۵KV و طول ناحیه سوخته $> 25\text{mm}$	mm	Cigre 478 و IEC 60587	آزمون فرسایش و خوردگی سطح شیب‌دار
≥ 120	Degree	IEC TS 62073	زاویه تماس (آبگریزی)
HC1	-	IEC TS 62073	کلاس آبگریزی
زمان رسیدن به زاویه تماس بالاتر از ۱۲۰ درجه	Hour	IEC 60507	انتقال آبگریزی
Roughness $< 100\text{ }\mu\text{m}$	μm	ISO 4287	آزمون فرسایش محیطی تسریع شده (UV)

۲-۵- نانوپوشش محافظ بتن

از جمله خواص مورد بررسی برای ارزیابی نانوپوشش محافظ بتن می‌توان به آب‌گریزی پوشش (زاویه تماس و زاویه تماس هیستریسیس)، بررسی نفوذ پذیری بتن (آزمون جذب آب، آزمون عمق آب و آزمون نفوذ یون کلر)، خواص مکانیکی (مقاومت فشاری و سختی)، بررسی ریزساختاری پوشش و بررسی طول عمر پوشش (آزمون پیرسازی تحت اشعه فرابنفش (UV)) اشاره کرد. این آزمون‌ها مطابق جدول ۵-۲ بر اساس استانداردهای ذکرشده انجام می‌شود.

جدول ۵-۲- آزمون‌های ارزیابی خواص مختلف نانو پوشش محافظ بتن

عنوان مشخصه	مرجع بررسی	واحد	معیار پذیرش
سختی	ASTM D3363	H,B	$2B \geq X \geq 2H$
مقاومت فشاری	ASTM D 412	MPa	≥ 50
زاویه تماس	IEC TS 62073	Degree	≥ 120
زاویه تماس هیستریسیس	IEC TS 62073	Degree	≥ 10
آزمون جذب آب	ASTM C1585	%	-
آزمون عمق آب	ASTM C143	%	-
آزمون نفوذ یون کلر	ASTM C1202	Coulombs	≥ 100
آزمون فرسایش محیطی تسریع شده (UV)	ISO 4287	μm	Roughness $< 100\text{ }\mu\text{m}$

۳-۵- نانو پوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار

از جمله خواص مورد بررسی برای ارزیابی نانو پوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار می‌توان به آنالیز فازی پوشش اعمال شده با استفاده از آزمون XRD، بررسی ریزساختاری و تعیین ضخامت پوشش با استفاده از آزمون FE-SEM، بررسی زبری سطحی و توپوگرافی سطحی با استفاده از آزمون AFM، ارزیابی خواص مکانیکی پوشش با آزمون میکروویکرز، نوپ یا Nano-indentation، اندازه گیری خواص چسبندگی با آزمون راکول سی و مطالعه رفتار خوردگی با آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک و امپدانس اشاره کرد. این آزمون‌ها مطابق جدول ۳-۵ بر اساس استانداردهای ذکر شده انجام می‌شود.

جدول ۳-۵- آزمون‌های ارزیابی خواص مختلف نانو پوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار

مشخصه	استاندارد	روش مشخصه یابی	حد پذیرش
جنس زیر لایه	UNE-EN 13925	XRD	فولاد زنگ نزن
تعداد لایه ها	ISO 9220:1988	FE-SEM	۳۲ تا ۹۰ لایه
ترکیب شیمیایی لایه/لایه ها	DIN ISO 22309	EDS Line	/ N Ti / Al / Cr
ضخامت لایه/لایه ها	ISO 9220:1988	FE-SEM	۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر
زبری سطح	ISO 19606:2017	AFM	کمتر از ۰.۴ میکرون
اندازه کریستال	Scherrer formula	XRD	۱۰ نانومتر
مورفولوژی و ریزساختار	--	FE-SEM	پوشش یکنواخت
چسبندگی	ISO 26443:2008	راکول سی	Class1 یا Class0
چقرمگی شکست	ISO 6507-2	Micro-Vickers	۲ مگاپاسکال در مجذور متر
سختی	ISO 14577-4:2016	Nano-Indentation	حداقل ۲۰۰۰ ویکرز
مدول الاستیک	ISO 14577-4:2016	Nano-Indentation	حداقل ۲۵۰ گیگاپاسکال
مقاومت به سایش	DIN EN 1071-13	Pin-on-disc	۱ گرم بر هزار متر
مقاومت به فرسایش	GT2016-57561	Erosion solid particle	۱ گرم بر ده هزار ساعت
ضریب اصطکاک	DIN EN 1071-12	Reciprocating	زیر ۰.۵
دمای کاری پوشش	--	DSC	حداقل ۵۰۰ درجه
مقاومت به خوردگی	ASTM STP727	Polarization test	جریان خوردگی ۱۰ ^{-۵}
زاویه تر شوندگی	--	Contact angle tester	۳۰ تا ۱۰۰ درجه

۴-۵- نانو پودر سد حرارتی YSZ

از جمله خواص مورد بررسی برای ارزیابی نانو پودر سد حرارتی YSZ می‌توان به بررسی جنس زیرلایه‌ها با استفاده از آزمون کوانتومتری، تعداد و ضخامت لایه‌ها، ترکیب شیمیایی لایه‌ها، چسبندگی پوشش، بررسی ریزساختاری (مورفولوژی، اندازه کریستال‌ها و زبری سطحی)، ارزیابی خواص مکانیکی و حرارتی (سختی و مدول الاستیک، مقاومت به خوردگی، مقاومت به شوک حرارتی و عایق سازی حرارتی) اشاره کرد. این آزمون‌ها مطابق جدول ۴-۵ بر اساس استانداردهای ذکر شده انجام می‌شود.

جدول ۴-۵- آزمون‌های ارزیابی خواص مختلف نانو پودر سد حرارتی YSZ

مشخصه	استاندارد	روش مشخصه یابی	حد پذیرش
-------	-----------	----------------	----------

Inconel 738LC	کوانتومتری	ASTM E3047 – 16	جنس زیر لایه
دو لایه	EDS-FESEM	ASTM E1920	تعداد لایه ها
Bond Coat: Ni-22Cr-10Al-1Y YSZ: ZrO ₂ -(7-8)wt. % Y ₂ O ₃	XRD- EDS-FESEM	ASTM E1508 - 12a ASTM C1365	ترکیب شیمیایی لایه/لایه ها
Bond Coat: 200 ± 50 μm Top coat: 300 ± 50	EDS-FESEM	ASTM B 487 ASTM E 376	ضخامت لایه/لایه ها
ریزساختار دوگانه	TEM - XRD-FESEM	ASTM F1877 – 16	اندازه کریستال
ریزساختار لایه‌ای	FESEM	ASTM E 1920	مورفولوژی
35 MPa	آزمون Pull off	ASTM C-633	چسبندگی
10 GPa	آزمون نانو فرورونده	ASTM 2546 ISO 14577-1	سختی
150 GPa	آزمون نانو فرورونده	ASTM 2546 ASTM C848 – 88	مدول الاستیک
120 °C	مطابق با استاندارد	E1461 – 13	عایق سازی حرارتی
درصد فاز مونوکلینیک	XRD- EDS-FESEM	ASTM G111	مقاومت به خوردگی
۴۰۰ سیکل	XRD- EDS-FESEM	ASTM C1525	مقاومت به شوک حرارتی (تعداد سیکل)

۵-۵- سیستم تصفیه پساب نیروگاهی از فلزات سنگین از طریق غشاهای نانوساختار

جهت اجرای این پایلوت، لازم است بخشی از آزمایشاتی که با استفاده از یک پایلوت آزمایشگاهی انجام شود تا علاوه بر دستیابی به شرایط پساب نیروگاه انتخاب شده به عنوان سایت پایلوت، بتوان به حدود شرایط فرایندی پکیج دست یافت. این آزمون‌ها عبارتند از: اندازه گیری کدورت، pH، کل جامدات محلول، کل مواد معلق، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیائی (BOD5)، اکسیژن مورد نیاز شیمیائی (COD)، کل کربن آلی (TOC) و چربی و روغن (TOG) برای پساب روغنی به عنوان خوراک و همچنین بررسی این پارامترها پس از تصفیه با استفاده از پکیج آزمایشگاهی در شرایط مختلف.

۵-۶- روانکارهای نانو ساختار

آزمون‌های بررسی خواص نانو روانکار عبارتند از: دمای کاری، میزان اسیدیته، خواص هدایت حرارتی و خواص سایشی. این آزمون‌ها مطابق استانداردهای ذکر شده در جدول ۵-۵ انجام می‌شوند.

جدول ۵-۵- آزمون‌های ارزیابی خواص مختلف نانو روانکار

استاندارد	واحد	مشخصه
D92	°C	Flash point
D92	°C	Fire point
D97	°C	Pour point
D7042	mm ² /s	Kin.Vis.at 40 °C
D7042	mm ² /s	Kin.Vis.at 40 °C
D947	mgKOH/g	Total acidity

در دماهای مختلف	W/m.k	هدایت حرارتی
D551078	μ	ضریب اصطکاک
D551078	M	قطر سایش

۷-۵- افزودنی نانوسیال خنک کننده نیروگاهی

به منظور تعیین مشخصات فیزیکی-شیمیایی نانو سیال از آزمون‌های استاندارد برای اندازه گیری خواص نمونه‌ها مطابق جدول ۵-۶ بر روی سیال پایه و نمونه‌های نانوسیال تولید شده انجام شده و نتایج نهایی مقایسه می‌شود.

جدول ۵-۶- آزمون‌های ارزیابی خواص مختلف نانوسیال خنک کننده نیروگاهی

واحد	روش آزمون	مشخصه
-	ASTM D1293-ASTM D1287	Ph
Ppm	ASTM D1126-ISIRI8652	CaCO ₃ سختی
Ppm	ASTM D1126-ISIRI8652	سختی کل
Ppm	ASTM D1067-ISIRI6427	قلیائیت CaCO ₃
Ppm	ASTM D5907-ISIRI6427	ذرات جامد محلول (TDS)
Ppm	ASTM D5907-ISIRI5904	کل ذرات جامد معلق TSS
NTU	ISIRI20318	کدورت
$\mu\text{S/cm}$	ASTM D1125-ISIRI 7476	هدایت الکتریکی (در ۲۵°C)
Ppm	ASTM D512-ISIRI 2350	کلراید (Cl ⁻)
Ppm	ASTM D1253	کلرباقیمانده
Ppm	ASTM D516-ISIRI6427	سولفات
Ppm	ASTM D859-ASTM D4985-ISIRI7919	سیلیس (SiO ₂)
Ppm	ASTM D1068-ISIRI6427	آهن (Fe)
Ppm	ASTM D858	منگنز (Mn)
Ppm	ASTM D1688ISIRI6427	مس (Cu)
Ppm	ASTM D1426	آمونیاک (NH ₄ ⁺)
°C	ASTM-1120-ISIRI 1213	نقطه جوش آب
°C	ASTM-D2386-ASTM D1177-ISIRI 1448	نقطه انجماد
W/mK	ASTM D5334-14	ضریب هدایت حرارتی (در ۲۰°C)
g/cm ³	ASTM D1122-ASTM D1298	چگالی (در ۲۰°C)
mpa.s	ASTM-D445	گرانروی (در ۲۰°C)
Kj/kg.°k	ASTM-E1269-11	ظرفیت حرارتی
اتلاف وزن (mg)	ASTM D1384	نرخ خوردگی

فصل ششم: بررسی تست‌های قابل انجام برای محصول / فناوری در حین اجرای پایلوت

۱-۶- نانوپوشش و رنگ ابر آب‌گریز و ضد گرد و غبار برای تجهیزات عایقی

از جمله خواص مورد بررسی می‌توان به خواص الکتریکی (جریان نشتی خشک و مرطوب، ولتاژ شکست و آزمون مه نمکی) و بررسی آب‌گریزی پوشش (کلاس آب‌گریزی) اشاره کرد. این آزمون‌ها مطابق جدول ۱-۶ بر اساس استانداردهای ذکر شده انجام می‌شود.

جدول ۱-۶- آزمون‌های ارزیابی خواص مختلف نانو پوشش ابر آب‌گریز در حین پایلوت

عنوان مشخصه	مرجع بررسی	واحد
کلاس آب‌گریزی	IECTS 62073	-
جریان نشتی خشک	IEC 60060	A
جریان نشتی مرطوب	IEC 60060	A
ولتاژ شکست	IEC60383	KV
آزمون مه نمکی	IEC 62217	KV

۲-۶- نانوپوشش محافظ بتن

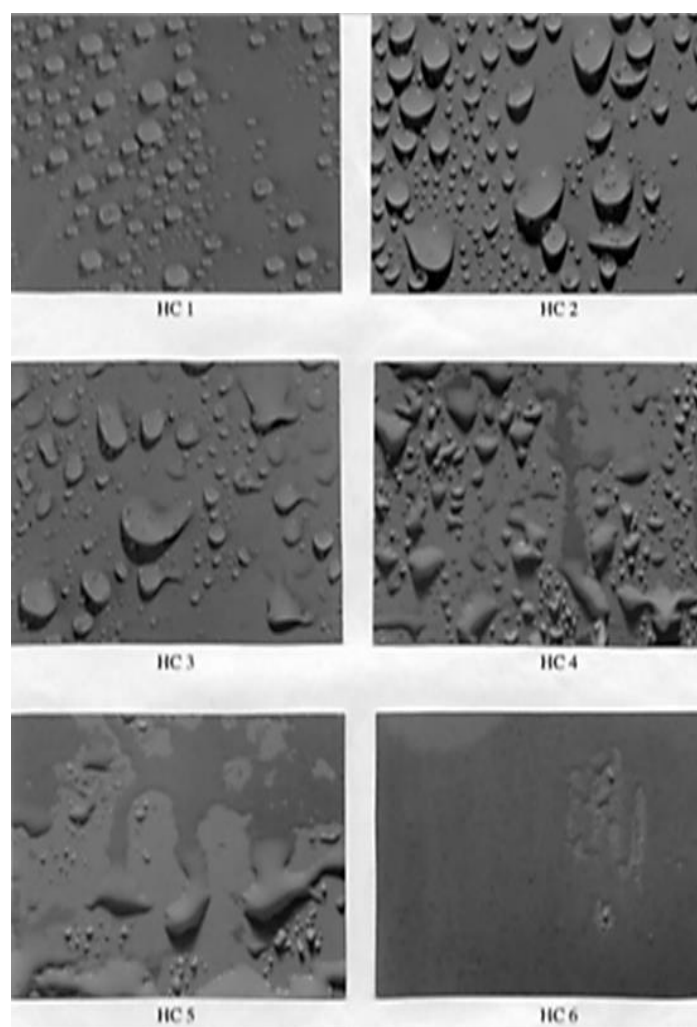
برای بررسی عملکرد پوشش بتن در حین پایلوت، آب‌گریزی پوشش از طریق مقایسه کلاس آب‌گریزی نمونه‌ها قبل و بعد از اعمال پوشش مطابق استاندارد IECTS 62073 ارزیابی می‌شود.

- تجهیزات:

تجهیزات مورد استفاده شامل یک بطری اسپری، آب شیرین بدون مواد شیمیایی مانند مواد شوینده و حلال‌ها، وسیله بزرگنمایی و لامپ می‌باشد.

- شرایط:

مساحت نمونه باید بین ۵۰-۱۰۰ سانتی‌متر باشد و اسپری از فاصله 10 ± 25 سانتی‌متر انجام شود. تعداد اسپری ۱-۲ بار در ثانیه و به مدت ۲۰-۳۰ ثانیه می‌باشد و ۱۰ ثانیه پس از پایان اسپری باید کلاس آب‌گریزی نمونه تعیین شود. تعیین کلاس آب‌گریزی با شش کلاس آب‌گریزی (HC 1-6) مطابق شکل ۱-۶ انجام شد. HC1 سطح کاملاً آب‌گریز و HC6 سطح کاملاً آبدوست می‌باشد.



شکل ۶-۱- کلاس‌های آبریزی

۳-۶- نانو پوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار

برای بررسی عملکرد نانو پوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار در حین پایلوت، خواص مختلف نانو پوشش نظیر خواص مکانیکی (سختی، استحکام، مقاومت به سایش و فرسایش) و همچنین طول عمر آن، از طریق مقایسه نمونه‌ها قبل و بعد از اعمال پوشش مطابق استانداردهای ذکر شده در فصل قبل، ارزیابی می‌شود.

۴-۶- نانو پودر سد حرارتی YSZ

برای بررسی عملکرد نانو پودر سد حرارتی YSZ در حین پایلوت، خواص مختلف نانو پودر نظیر خواص مکانیکی، حرارتی و میزان تخریب پوشش یا طول عمر آن در طی سرویس از طریق مقایسه نمونه‌ها قبل و بعد از اعمال پوشش مطابق استانداردهای ذکر شده در فصل قبل، ارزیابی می‌شود.

۵-۶- سیستم تصفیه پساب نیروگاهی از فلزات سنگین از طریق غشاهای نانوساختار

این آزمون‌ها همان آزمون‌های عملکردی دستگاه می‌باشند که پس از راه اندازی و رفع عیوب دستگاه انجام خواهند شد و عبارتند از اندازه گیری پارامترهای کیفی آب پس از تصفیه با دستگاه که شامل مواردی مانند: کدورت، pH، کل جامدات محلول، کل مواد معلق، اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD5)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)، کل کربن آلی (TOC) و چربی و روغن (TOG) می‌باشند.

۶-۶- روانکارهای نانو ساختار

موارد زیر در بررسی عملکرد نانوروانکار در حین پایلوت بررسی خواهند شد:

- بررسی مقدار آهن در روانکار در دوره های مختلف
- بررسی دمای کمپرسور و روغن
- میزان مصرف برق کمپرسور در دوره مشخص

۷-۶- افزودنی نانوسیال خنک کننده نیروگاهی

در تست پایلوت ابتدا داده برداری از سامانه مبدل حرارتی در حالت معمول و بدون افزودن نانوذرات انجام خواهد شد. سپس نانوذرات به میزان مشخص به مبدل افزوده می‌گردد و فرآیند داده برداری مشابه حالت قبل مجدداً انجام خواهد شد. پس از پایان داده برداری محاسبه ضریب کارایی مبدل و سایر پارامترهای عملکردی در هر دو حالت انجام گرفته و نتایج مربوطه مقایسه خواهد شد. همچنین برخی از آزمون‌هایی که می‌توان در حین تست پایلوت انجام داد عبارت اند از:

- اندازه گیری دمای محیط
- اندازه گیری دماهای ورودی و خروجی مبدل حرارتی
- اندازه گیری رطوبت محیط
- نمونه برداری از نانوسیال درون مبدل و انجام آنالیزهای خوردگی و پایداری

فصل هفتم: جمع بندی

۱-۷- جمع بندی

با توجه به خسارت‌های سنگین صنعت برق کشور در سالهای اخیر، بررسی مواد و پوشش‌های بکار رفته در تجهیزات به کار رفته در این صنعت بسیار ضروری است. این مواد می‌توانند در حوزه‌های مختلف صنعت برق نظیر تولید، انتقال، توزیع و به صورت‌های مختلف مثل افزودنی‌های نانو و نانو پوشش‌ها به کار گرفته شوند. از جمله کاربردهای حائز اهمیت این دسته از محصولات در صنعت برق می‌توان به نانو پوشش و رنگ ابر آبگریز و ضد گرد و غبار برای تجهیزات عایقی، نانو پوشش محافظ بتن، نانو پوشش مقاوم به فرسایش بر روی پره توربین بخار، پوشش‌های سد حرارتی نانو ساختار بر پایه YSZ، غشاهای نانو ساختار حاوی نانو ذرات سرامیکی جهت حذف انتخابی آلاینده از پساب‌های نیروگاهی، مواد افزودنی نانو ساختار به عنوان روانکار و نانوسیال‌های خنک‌کننده نیروگاهی به منظور افزایش راندمان با استفاده از افزودنی‌های نانو اشاره کرد.

ارائه راهکارهای جدید برای مبارزه با خسارتهای ناشی از آلودگی و خوردگی مستلزم تعیین دقیق شرایط منطقه و انتخاب مواد یا نانو مواد، متناسب با شرایط کاری می‌باشد. لذا می‌بایست ملاحظات لازم در خصوص انتخاب مواد مناسب با شرایط موجود در نظر گرفته شود که متأسفانه این امر اغلب منظور نشده و سبب وارد آمدن مقادیر قابل توجهی خسارت به صنعت برق کشور شده است. جلوگیری از چنین مواردی را می‌توان با یک سری فعالیتهای پیشگیرانه در فرآیند تولید و یا اصلاح تجهیزات به حداقل رسانید.

“پایلوت” مطالعه یا بررسی است که به صورت مقدماتی و در مقیاس کوچک پیش از اجرای طرح اصلی انجام می‌شود تا امکانپذیری طرح، ارزیابی شده و یا نحوه اجرای طرح بهبود داده شود. اغلب، طرح‌های پایلوت پیش از اجرای طرح‌های کلان اجرا می‌شوند، با این هدف که از اتلاف منابع زمان و هزینه بر روی طرح‌هایی که هنوز کامل نیستند، خودداری شود. در طی اجرای پایلوت یک طرح، نواقص و مشکلاتی که در اجرا وجود دارد، شناسایی و بررسی می‌شود تا بتوان طرح مطالعه اصلی را تکمیل کرد. فواید اجرای طرح به صورت پایلوت را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱- موانع پنهان و قیودی که توانایی سیستم را در دستیابی به اهداف مورد انتظار محدود می‌کند، شناسایی می‌شود.

۲- امکان نظارت و کنترل بر توانایی کاربران در انطباق با وضعیت جدید فراهم می‌شود.

۳- گزینه خیلی خوبی برای ارزیابی عملکرد سیستم است، چون پایلوت با سرعت بیشتر و هزینه کمتر قابل اجراست.

اجرای یک طرح به صورت پایلوت این امکان را به مجریان می‌دهد تا فرآیند اجرای طرح در ابعاد کوچکتر را با دقت رصد کنند و پس از آشنایی با موانع و نارسایی‌های طرح و اصلاح و تکمیل آن، با آمادگی بیشتر طرح اصلی در ابعاد وسیع به اجرا گذاشته شود. اجرای یک طرح به صورت پایلوت همچنین، به فراهم شدن برخی زمینه‌های لازم برای پذیرش طرح در صنعت نیز کمک می‌کند، به طوری که صنعت بتواند در یک فرآیند تدریجی تغییراتی را که ملزوم اجرای طرح است بپذیرد. از این رو عموماً اجرای طرح‌های پایلوت یکی از اجزای مهم استراتژی اجرای مدیریت دانش در صنایع و سازمان‌ها می‌باشد.

محصولات نانو به کار رفته در نانو پوشش‌ها یا کامپوزیت‌های دارای نانو ذرات تقویت‌کننده، باید به دو صورت مورد آزمون قرار بگیرند؛ یکی از نظر صحت و اعتبار محصولات خارجی وارد شده در مقایسه با کاتالوگ آن‌ها و دیگری از نظر نحوه عملکرد نانو مواد در شرایط سرویس. از جمله مهمترین اهداف اولیه برای این طرح میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

۱. صحت سنجی محصولات به کار رفته (نانوپوشش یا افزودنی نانو) در صنعت برق با کاتالوگ آن‌ها
 ۲. ارائه معیارهای فنی در انتخاب درست محصولات نانو برای بهبود خواص تجهیزات
 ۳. بهره‌برداری مناسب از شبکه‌های تولید، انتقال و توزیع نیرو و رفع مشکلات رایج در آن‌ها
 ۴. انجام خدمات آزمون و ارائه گواهی تأییدیه عملکرد مناسب محصولات نانو در اصلاح تجهیزات به کار رفته در صنعت برق
 ۵. مقایسه عملکرد محصولات ارائه شده توسط سازندگان مختلف در دنیا
- با توجه به توضیحات فوق و اهمیت استفاده از فناوری نانو در بهبود خواص و کارایی تجهیزات صنعت برق، این طرح با خدمات زیر جهت صحت سنجی نانو مواد مورد استفاده و بررسی عملکرد آن‌ها در شرایط صنعتی ارائه شده است:
۱. مطالعه دقیق اسناد و مدارک مرتبط به موضوع
 ۲. سنجش حوزه‌های مختلف در صنعت برق برای انجام آزمون پایلوت
 ۳. انتخاب نانو مواد مناسب برای بهبود خواص تجهیزات انتخاب شده
 ۴. انجام آزمایش‌های مقدماتی پیش از پایلوت در مقیاس آزمایشگاهی
 ۵. ارزیابی خواص نمونه‌های آزمایشگاهی آماده شده
 ۶. انتخاب حالت بهینه استفاده از نانو مواد در بهبود خواص مد نظر
 ۷. انجام آزمون پایلوت در یکی از حوزه‌های انتخابی در صنعت برق
 ۸. بررسی عملکرد محصول در شرایط کاری

برای کاهش سایر هزینه‌های انجام پایلوت نظیر مسافرت، یکی از سایت‌های منتخب برای اجرای پروژه در تهران، نیروگاه طرشت (شهید فیروزی) که پیشتر به آلستوم شهرت داشت، می‌باشد. زمینه عمده فعالیت شرکت بهره‌برداری نیروگاه طرشت تولید انرژی الکتریکی است که در طول زمان حوزه‌های فعالیت: مرکز آموزش سیمولاتوری و مرکز توسعه تولید پراکنده (DGPC) به آن افزوده شده است. پی‌ریزی نیروگاه به حدود ۶ دهه قبل برمی‌گردد و هم‌اکنون به‌عنوان قدیمی‌ترین نیروگاه کشور و نمادی از توانمندی صنعت برق کشور در شصتمین سال بهره‌برداری مستمر خود قرار دارد. این نیروگاه دارای چهار واحد بخاری آلستوم فرانسه با توان نامی ۱۲.۵ مگاوات است. این نیروگاه که مهد پرورش بسیاری از گردانندگان و نخبگان پیشین و کنونی صنعت برق کشور بود، در گذشته محل استقرار نخستین دیسپاچینگ شبکه سراسری و برخی از دفاتر ستادی و عملیاتی صنعت برق و همچنین مقر طرح‌های توسعه نیروگاه‌ها بوده است. هم‌اکنون نیز به اعتبار قرار داشتن در حوزه شهری تهران و برخی ویژگی‌ها، مطلوب‌ترین مکان برای اجرای طرح‌های پایلوت نیروگاهی به‌منظور اشاعه به سایر نیروگاه‌های کشور است.

علاوه بر موارد بالا، علت انتخاب نیروگاه طرشت، کوچک بودن نیروگاه و دارا بودن توربین و کمپرسورهای کوچک هست که میزان مصرف روانکار پایین دارند. لذا بررسی عملکرد نانو روانکار با مشکل کمتری قابل انجام است. در ضمن محل نیروگاه در تهران واقع شده است و امکان کنترل و بررسی‌های دوره‌ای بیشتر می‌شود.

مشابه پروژه افزودن نانو روانکار که پایلوت آن در نیروگاه طرشت انجام خواهد شد، پروژه افزودنی نانوسیال نیز با دلایل زیر در همین نیروگاه پایلوت خواهد شد:

۱. دسترسی سریع و آسان برای پایش و داده برداری
۲. وجود سیکل بسته مبدل حرارتی برای تزریق نانوسیال
۳. وجود تجربه قبلی بکارگیری نانوسیالات در نیروگاه طرشت و آشنایی کارشناسان با مفاهیم نانوسیال

وجود سیستم کوچک که مناسب انجام تست پایلوت و ارزیابی سریع می باشد.

مراجع

- [1] “<https://nanoproduct.ir>.” .
- [2] W. Lunther, *Nanotechnology Applications in the Energy Sector*. Transport, Urban & Regional Development, 2008.
- [3] “fa.wikipedia.org.” .
- [4] M. G. P.G.Klemens, “Thermal Conductivity of Thermal Barrier Coatings,” *Mat. Sci. Eng*, 1998.
- [5] *Boiler Feed Water Treatment for Industrial Boiler & Power Plants*. .
- [6] نانوتکنولوژی در مواد و کاربردها در صنعت برق, “۲۰۰۳”

- [7] "www.nanowerk.com."
- [8] Tang, "Improvement in Oxidation Behaviour of Nanostructured CoNiCr AlY Bond Coating."
- [9] "Program on Technology Innovation Nanotechnology Opportunities for the Electric Utility Enterprise," 2005.
- [10] O. of N. Research, *Nanostructured Magnetic Materials*. 2001.
- [11] A. I. Electric Power Research Institut, "Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants," *St. Fe, New Mex.*, 2010.
- [12] C. C. Koch, "Nanostructured Materials, Chapter 9: Magnetic Properties of Nanocrystalline Materials," *William Andrew Publ.*, 2002.
- [13] "www.wtec.org."
- [14] Q. L. & Z. Xu, "Lead sorption from aqueous solutions on chitosan nanoparticles," *Colloid. Surf.*, 2004.
- [15] and S.-Q. B. Chen, Li-Dong, Zhen Xiong, "Recent progress of thermoelectric nano-composites," *J. Inorg. Mater.*, 2010.
- [16] "www.itan.ir."
- [17] "Applications of Nanotechnology."
- [18] "www.criepi.denken.or.jp."
- [19] D. H. W. & B. Q. W. Li Y.-H., J. Ding, Z.K. Luan, Z.C. Di, Y.F. Zhu, CL Xu, "Competitive adsorption of Pb²⁺, Cu²⁺ and Cd²⁺ ions from aqueous solutions by multiwalled carbon nanotubes," *Carbon N. Y.*, 2003.
- [20] O. S. O. & G. J. Meyer, "Nanostructured materials for environmental remediation of organic contaminants in water," *Environ. Sci. Heal. A.*, 2004.
- [21] A. A.A, "Industrial exploitation of photocatalysis progress, perspectives and prospects," *Catal. Surv. Asia*, 2004.
- [22] S. I. & B. Salopek-Sondi, "Bacteria, Silver nanoparticles as antimicrobial agent: A case study on E-coli as a model for Gram-negative," *J. Coll. Interf. Sci*, 2004.
- [23] L. L. & C. V. Vander Bruggen B., "Reuse, treatment, and discharge of the concentrate of pressuredriven membrane processes," *Environ. Sci. Technol*, 2003.
- [24] S. Jefri, "Stability in Nano Fluids," *Int. Conf. Micro Nano Technol.*, 2009.
- [25] Choudhary, "Catalysts for Combustion of Methane and Lower Alkanes," *Appl. Catal.*, 2002.
- [26] K. V. P. S. P. Nunes, "Membrane Technology in the Chemical Industry," *Willey, VCH*, 2001.
- [27] ق. ه, "نخیره سازی هیدروژن در نانو لوله های کربنی," *"اولین همایش منطقه ای فناوری های نوین زیستی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد فلاورجان, ۲۰۰۹"*

- [28] S. M. Haile, "Fuel cell materials and components," *Acta Mater.*, 2003.
- [29] س. و. ت. ف. نانو، "سند راهبرد ۱۰ ساله توسعه فناوری نانو در ایران،" ۲۰۰۹، .
- [30] ع. عباسی، "نقشه راه فناوری نانو اروپا،" ۲۰۱۰ .
- [31] "www.iritn.com." .
- [32] گ. ب. و. ر. و. نیرو، "چشم‌انداز ایران در افق ۱۴۰۴،" ۲۰۱۰ .