نانو و صنعت

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۱۹۲

صنعت برق

کاربردهای فناوری نانو در توربین‌های بادی

ویرایش نخست

سال انتشار: ۱۳۹۸

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو • www.nano.ir

شناسنامه

ستاد ویژه توسعه فناوری نانـو

طراحی و اجرا: توسعه فناوری مهرویژن

نظارت: داود قرایلو
report@nano.ir

تلفن: ۰۲۱-۶۳۱۰۰

نمابر: ۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰

پایگاه اینترنتی: www.nano.ir

صندوق پستی: ۳۴۴-۱۴۵۶۵

فهرست مطالب

- انرژی بادی و کاربردهای مختلف آن در صنعت برق ۳
- انرژی باد ۴
- مزایا و معایب استفاده از انرژی باد ۷
- چالش‌های موجود در استفاده از انرژی بادی (توربین بادی) و کاربرد فناوری نانو ۱۲
- فناوری نانو در استفاده از انرژی بادی (توربین بادی) ۱۴
- محصولات صنعتی ۱۸
- خلاصه مدیریتی ۱۹

انرژی بادی و کاربردهای مختلف آن در صنعت برق

توسعه شگرف علم و فناوری در جهان امروز ظاهراً آسایش و رفاه زندگی بشر را موجب شده است. لیکن این توسعه یافتگی، مایه بروز مشکلات تازه‌ای نیز برای انسان‌ها شده است که از آن جمله می‌توان به آلودگی محیط زیست، گرم شدن کره زمین، تغییرات گسترده آب و هوایی در زمین و غیره اشاره نمود. ازاین‌رو صاحب‌نظران و کارشناسان به دنبال منابعی هستند که به‌تدریج جایگزین سوخت‌های فسیلی شوند. سوخت‌های فسیلی آلودگی‌های زیست‌محیطی بی‌شماری را ایجاد می‌نمایند. به‌عبارت‌دیگر ازیک‌طرف درنتیجه سوختن مواد فسیلی گازهای سمی وارد محیط می‌شود و تنفس انسان را دچار مشکل می‌نماید و محیط زیست را آلوده می‌نماید و از طرفی دیگر تراکم این گازها در جو زمین مانع خروج گرما از اطراف زمین می‌شود و باعث افزایش دمای هوا و تغییرات گسترده آب‌وهوایی در زمین می‌گردد که اثر گلخانه‌ای نامیده می‌شود. متخصصان براین باورند که با استفاده از انرژی‌های پاك نظیر انرژی خورشیدی، بادی، زمین‌گرمایی، هیدروژن و... به‌جای انرژی‌های حاصل از سوخت‌های فسیلی، از آلودگی‌های زیست‌محیطی و خطرات مرتبط با آن جلوگیری خواهد شد. از سوی دیگر انرژی‌های فسیلی مانند نفت، گاز و زغال‌سنگ سرانجام روزی به پایان خواهند رسید و با پایان گرفتن آن‌ها تمدن بشری که بستگی مستقیم به انرژی دارد دچار چالش جدید و بزرگ خواهد شد. در برابر افزایش مصرف انرژی در جهان و کاهش شدید قیمت نفت در نیمه دوم ۲۰۱۴، انرژی‌های تجدید پذیر بیش از پیش به رشد خود ادامه دادند. در این سال، انرژی‌های تجدیدپذیر، ازنظر ظرفیت نصب‌شده و انرژی تولیدشده، به‌طور چشمگیری توسعه یافتند. این امر سبب شده است که کشورهای توسعه‌یافته صنعتی با جدیت هرچه‌تمام‌تر استفاده از سایر انرژی‌های موجود در طبیعت و به‌خصوص انرژی‌های تجدیدشونده را موردتوجه قرار دهند[۱ و ۲]. استفاده از انرژی خورشید، باد و امواج، زمین‌گرمایی، هیدروژن، زیست‌توده و... که به انرژی‌های تجدید پذیر موسوم‌اند مستلزم مطالعات و تحقیقات فراوانی است که قبل از استفاده باید انجام گیرند. مجموعه انرژی‌های تجدیدپذیر روزبه‌روز سهم بیشتری را در سیستم تأمین انرژی جهان به عهده می‌گیرند. انرژی‌های تجدید پذیر به‌ویژه برای کشورهای درحال‌توسعه از جاذبه بیشتری برخوردار است.

طبق آمارهای به ثبت رسیده طی ۳۰ سال گذشته احتیاجات انرژی جهان به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافته

است که دارای رشد متوسط سالانه ۳/۳ درصد است و درمجموع ۱۶۶ درصد افزایش نشان می‌دهد. این ارقام نشان می‌دهند که میزان مصرف انرژی جهان در قرن آینده بسیار بالا است و بالطبع این سؤال مهم مطرح می‌شود که آیا منابع انرژی‌های فسیلی در قرن‌های آینده، جواب گوی نیاز انرژی جهان برای بقا، تکامل و توسعه خواهند بود یا خیر؟

حداقل به دو دلیل عمده پاسخ این سؤال منفی است و باید منابع جدید انرژی را جایگزین این منابع نمود. این دلایل عبارت‌اند از:

محدودیت و درعین حال مرغوبیت انرژی‌های فسیلی چراکه این سوخت‌ها از نوع انرژی شیمیایی متمرکزبوده و مسلماً کاربردهای بهتر از احتراق دارند. مسائل و مشکلات زیست‌محیطی به‌طوری‌که امروزه حفظ سلامت اتمسفراز مهم‌ترین پیش‌شرط‌های توسعه اقتصادی پایدار جهانی به شمار می‌آید. ازاین‌رو است که دهه‌های آینده به‌عنوان سال‌های تلاش مشترک جامعه انسانی برای کنترل انتشار کربن، کنترل محیط زیست و درواقع تلاش برای تداوم انسان برروی کره زمین خواهد بود.

بنابراین استفاده از منابع جدید انرژی به‌جای منابع فسیلی امری الزامی است. دستگاه‌های جدید انرژی در آینده باید متکی به تغییرات ساختاری و بنیادی باشد که در آن منابع انرژی بدون کربن نظیرانرژی خورشیدی و بادی و زمین‌گرمایی و کربن خنثی مانند انرژی بیوماس مورداستفاده قرار گیرد. بدون تردید انرژی‌های تجدید پذیربا توجه به‌سادگی فناوری‌شان در مقابل فناوری انرژی هسته‌ای ازیک‌طرف و نیزبه دلیل عدم ایجاد مشکلاتی نظیر زباله‌های اتمی از طرف دیگرنقش مهمی در سیستم‌های جدید انرژی در جهان ایفا می‌کنند.

در سال ۲۰۱۴ سرمایه‌گذاری در برق تجدید پذیر از خالص سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های فسیلی پیشی گرفت. سریع‌ترین رشد و نیز بیشترین افزایش در ظرفیت تجدیدپذیرها، به بخش برق با پیشتازی سه فناوری بادی، خورشیدی فتوولتاییک و برق‌آبی تعلق داشت. کاهش چشمگیرهزینه‌ها، به‌ویژه در مورد خورشیدی فتوولتاییک و برق بادی، در گسترش برقی شدن وسایل حمل‌ونقل و گرمایش مؤثربوده است و نشان می‌دهد که امکان همپوشانی بیشتری بین بخش‌های مختلف در آینده وجود خواهد داشت. اکنون تجدیدپذیرها در بسیاری از کشورها، به‌ویژه در بخش برق در سطح گسترده‌ای در برابر سوخت‌های فسیلی رقابت‌پذیر هستند[۲].

به‌طورکلی عمده فعالیت‌های مربوط به احداث پایلوت‌های سازگار با محیط زیست با بکار بردن منابع انرژی‌های تجدید پذیر در چهار بخش زیر متمرکز شده است:

- انرژی‌های خورشیدی
- انرژی باد و امواج
- انرژی زمین‌گرمایی
- فناوری هیدروژن، پیل سوختی و زیست‌توده

انرژی باد

باد یکی از پاک‌ترین و ارزان‌ترین انرژی‌های تجدید پذیراست که مزایای استفاده از آن در تولید انرژی نسبت به سایر انرژی‌های تجدید پذیرباعث توسعه سریع بازار انرژی بادی و به‌تبع آن ارتقا فناوری و رشد چشم‌گیرمطالعه کاربردی این فراسنج اقلیمی در میان جوامع پیشرفته جهان شده است.

اولین کشوری که در دنیا از انرژی باد برای مصارف کشاورزی استفاده کرد ایران بود که در این زمینه سابقه‌ای بیش از ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ سال دارد. استفاده از این انرژی بعداً از طریق ایران به دیگر سرزمین‌های اسلامی راه یافت و سپس اروپا و قاره امریکا و سایر نقاط جهان انرژی باد را مورداستفاده قراردادند که در مصارف مختلف مانند پمپاژ آب و آبیاری، آسیاب نمودن غلات، تولید الکتریسیته، استفاده مکانیکی نظیر اره نمودن چوب و صنایع‌دستی و غیره، به خدمت گرفته شد و به‌طور وسیعی مورد بهره‌برداری قرار گرفت [۳].

کشور ایران ازلحاظ منابع مختلف انرژی یکی از غنی‌ترین کشورهای جهان محسوب می‌گردد، چراکه از یک‌سو دارای منابع گسترده سوخت‌های فسیلی و تجدیدناپذیر نظیر نفت و گاز است و از سوی دیگر دارای پتانسیل فراوان انرژی‌های تجدید پذیر ازجمله انرژی باد و انرژی خورشیدی می‌باشد.

با توسعه نگرش‌های زیست‌محیطی و راهبردهای صرفه‌جویانه در بهره‌برداری از منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر، استفاده از انرژی باد در مقایسه با سایر منابع انرژی مطرح در بسیاری از کشورهای جهان رو به فزونی گذاشته است. استفاده از فناوری توربین‌های بادی به دلایل زیر می‌تواند یک انتخاب مناسب در مقایسه با سایر منابع انرژی تجدید پذیر باشد.

- قیمت پایین توربین‌های برق بادی در مقایسه با دیگر انواع انرژی‌های نو
- کمک در جهت ایجاد اشتغال در کشور
- عدم آلودگی محیط زیست

در کشورهای پیشرفته نظیر آلمان، دانمارک، آمریکا، اسپانیا، انگلستان و بسیاری کشورهای دیگر، توربین‌های بادی بزرگ و کوچک ساخته شده است و برنامه‌هایی نیز جهت ادامه پژوهش‌ها و استفاده بیشتر از انرژی باد جهت تولید برق در واحدهایی با توان چند مگاواتی مورد مطالعه است.

در ایران نیز با توجه به وجود مناطق بادخیز طراحی و ساخت آسیاب‌های بادی از ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح رایج بوده و هم‌اکنون نیز بستر مناسبی جهت گسترش بهره‌برداری از توربین‌های بادی فراهم است [۴ و ۵]. با توجه به سیاست‌های ابلاغی دولت درزمینه استفاده از صنایع بومی در مراحل ساخت و اجرا مشوق‌هایی نیز در نظر گرفته شده است[۶]. مولدهای برق بادی می‌تواند جایگزین مناسبی برای نیروگاه‌های گازی و بخاری باشند.

مطالعات و محاسبات انجام‌شده در زمینه تخمین پتانسیل انرژی باد در ایران نشان داده‌اند که تنها در ۲۶ منطقه از کشور (شامل بیش از ۴۵ سایت مناسب) میزان ظرفیت اسمی سایت‌ها، با در نظر گرفتن یک راندمان کلی ۳۳٪، در حدود ۶۵۰۰ مگاوات است و این در شرایطی است که ظرفیت اسمی کل نیروگاه‌های برق کشور، (در حال حاضر) ۳۴۰۰۰ مگاوات است. در توربین‌های بادی، انرژی جنبشی باد به انرژی مکانیکی و سپس به انرژی الکتریکی تبدیل می‌گردد.

استفاده فنی از انرژی باد وقتی ممکن است که متوسط سرعت باد در محدوده ۲۵ /۰ تا ۵ /۰ باشد. پتانسیل قابل بهره‌برداری انرژی باد در جهان ۱۱۰ اگاژول (هر اگاژول معادی ۱۰۱۸ ژول) برآورد گردیده است که از این مقدار ۴۰ مگاوات ظرفیت نصب‌شده تا اواخر سال ۲۰۰۳ میلادی (۱۳۸۲ ه.ش.) در جهان است.

در سال ۲۰۱۳، انرژی‌های تجدیدپذیر حدود ۱۹/۱ درصد از مجموع مصرف انرژی نهایی جهان را تأمین کردند. رشد ظرفیت و تولید تجدیدپذیرها در سال ۲۰۱۴ نیز ادامه یافت. چین در سال ۲۰۱۴ در زمینه نصب ظرفیت

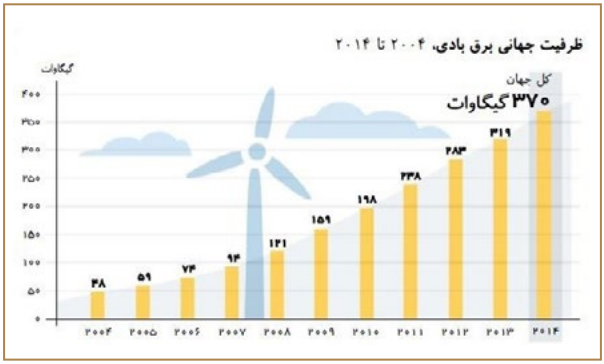
جدید افزوده‌شده برق تجدیدپذیر در ۲۰۱۴ پیشتاز جهان بود، برزیل، هند و آفریقای جنوبی، سهم بزرگی از ظرفیت افزوده‌شده را در بین کشورهای منطقه خود داشتند. در سال ۲۰۱۴ به میزان ۵۱ گیگاوات به ظرفیت جهانی تولید برق بادی افزوده شد [۱].

تولید برق با استفاده از انواع انرژی تجدید پذیر در جهان در شکل ۱ نشان داده شده است.

		آغاز ۲۰۰۴[1]	۲۰۱۳	۲۰۱۴
سرمایه‌گذاری				
سرمایه‌گذاری جدید (سالانه) در برق و سوخت‌های تجدیدپذیر[2]	میلیارد دلار	۴۵	۲۳۲	۲۷۰
برق				
ظرفیت برق تجدیدپذیر (در مجموع، غیر از برق‌آبی)	گیگاوات	۸۵	۵۶۰	۶۵۷
ظرفیت برق تجدیدپذیر (در مجموع، شامل برق‌آبی)	گیگاوات	۸۰۰	۱۵۷۸	۱۷۱۲
ظرفیت برق‌آبی (در مجموع)[3]	گیگاوات	۷۱۵	۱۰۱۸	۱۰۵۵
ظرفیت زیست‌برق	گیگاوات	< ۳۶	۸۸	۹۳
تولید زیست‌برق	تراوات‌ساعت	۲۲۷	۳۹۶	۴۳۳
ظرفیت برق زمین‌گرمایی	گیگاوات	۸/۹	۱۲/۱	۱۲/۸
ظرفیت خورشیدی فتوولتائیک (در مجموع)	گیگاوات	۲/۶	۱۳۸	۱۷۷
ظرفیت برق حرارتی خورشیدی متمرکز (در مجموع)	گیگاوات	۰/۴	۳/۴	۴/۴
ظرفیت برق بادی (در مجموع)	گیگاوات	۴۸	۳۱۹	۳۷۰

شکل ۱. میزان برق تولیدشده در سال‌های مختلف با استفاده از انرژی تجدید پذیر[۱]

حال به‌طور متمرکز به تولید برق به‌وسیله باد در جهان پرداخته می‌شود. در شکل ۲ ظرفیت جهانی برق بادی نمایش داده می‌شود.

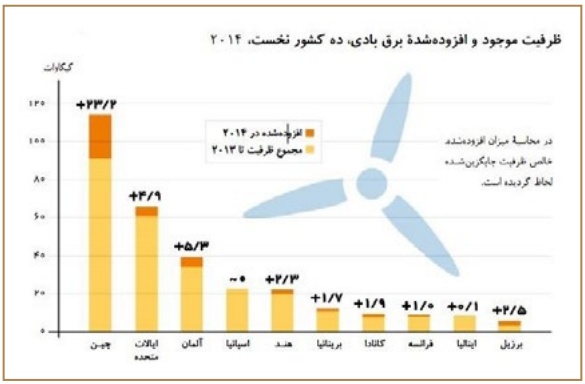


شکل ۲. ظرفیت جهانی برق بادی [۱]

ده کشور نخست در زمینه تولید برق با استفاده از انرژی بادی در شکل ۳ تا سال ۲۰۱۴ نمایش داده شده‌اند.

از مزایای استفاده از این انرژی عدم نیاز توربین بادی به سوخت، تأمین بخشی از تقاضاهای انرژی برق، کمتر بودن نسبی انرژی باد نسبت به انرژی فسیلی در بلندمدت، تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار

انرژی، قدرت مانور زیاد در بهره‌برداری (از چند وات تا چندین مگاوات)، عدم نیاز به آب و نداشتن آلودگی محیط زیست است.
باد بیش از ۲۰ درصد برق مصرفی در چندین کشور ازجمله دانمارک، نیکاراگوئه، پرتغال و اسپانیا تأمین می‌کند.



شکل ۳. ده کشور نخست تولید برق بادی تا سال ۲۰۱۴ [۱]

مزایا و معایب استفاده از انرژی باد

انرژی باد مزایای فراوانی دارد و به همین دلیل امروزه در حال تبدیل به یک منبع انرژی به‌سرعت در حال گسترش در همه دنیا می‌باشد. تلاش‌های تحقیقاتی برروی مشخص کردن چالش‌های پیش روی در زمینه استفاده وسیع‌تر از انرژی باد، متمرکز شده است.

مزایای انرژی بادی

انرژی باد یک منبع انرژی تجدیدپذیر است که مانند سوخت‌های فسیلی آلوده‌کننده محیط زیست نیست. انرژی

باد برخلاف نیروگاه‌هایی که متکی به احتراق سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ و گاز طبیعی می‌باشند، هوا را آلوده نمی‌کند. توربین‌های بادی هیچگونه مواد آلوده‌کننده‌ای را وارد اتمسفر نمی‌کنند و درنتیجه باعث تولید باران اسیدی یا گازهای گلخانه‌ای نمی‌شوند. انرژی بادی یک منبع انرژی داخلی است که داخل تولید می‌شود. منابع بادی ملی بسیار زیاد می‌باشند. انرژی بادی متکی به توان تجدیدپذیری باد است که میدانیم این انرژی هیچ‌گاه تمام نمی‌شود. باد درواقع شکلی از انرژی خورشیدی است. یکی از ارزان‌ترین فناوری‌های تولید انرژی، فناوری تولید انرژی از باد است که امروزه در دسترس است و هزینه تولیدی، بین ۴ تا ۶ سنت به ازای هر کیلووات ساعت دارد که این میزان بستگی به منبع باد و مقدار سرمایه‌گذاری دارد، طبیعتاً هرقدر میزان سرمایه‌گذاری بیشتر باشد نیروگاه بزرگ‌تری خواهیم داشت و به خاطر تولید بیشتر بهای هر کیلووات انرژی کمتر خواهد شد. توربین‌های بادی را می‌توان در مزارع و مراتع نصب کرد و به‌این‌ترتیب از این مناطق روستایی که بهترین مناطق بادخیز می‌باشند بهره اقتصادی برد. کشاورزان و مرتع‌داران می‌توانند از زمین خود همچنان استفاده کنند چراکه توربین‌های بادی فقط جزء کوچکی از زمین را اشغال می‌کنند. صاحبان نیروگاه‌های بادی می‌توانند مقداری اجاره به کشاورزان و مرتع‌داران برای استفاده از زمین آن‌ها، بپردازند.

انرژی باد نیز مانند سایر منابع انرژی تجدید پذیر از ویژگی‌ها و مزایای بالاتری نسبت به سایر منابع انرژی برخوردار است اهم این مزایا عبارت است از:

- عدم نیاز توربین‌های بادی به سوخت که درنتیجه از میزان مصرف سوخت‌های فسیلی می‌کاهد.
- رایگان بودن انرژی باد
- توانایی تأمین بخشی از تقاضای انرژی برق
- کمتر بودن نسبی قیمت انرژی حاصل از باد در بلندمدت
- تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار انرژی
- قدرت مانور زیاد جهت بهره‌برداری در هر ظرفیت و اندازه (از چند وات تا چندین مگاوات)
- عدم نیاز به آب
- عدم نیاز به زمین زیاد برای نصب
- ایجاد اشتغال
- نداشتن آلودگی زیست‌محیطی

معایب انرژی بادی

نیروی باد، باید با منابع تولیدی برق سنتی ازنظر هزینه‌ها رقابت کند. در یک منطقه بادخیز، مانند مزارع بادی (نیروگاه‌های بادی)، بسته به اینکه این مناطق تا چه میزان پرانرژی باشند، می‌توانند ازلحاظ هزینه، قابل رقابت با منابع سنتی باشند یا اینکه نباشند. بااینکه در ۱۰ سال گذشته هزینه استفاده از انرژی باد به طرز چشم‌گیری کاهش‌یافته است، اما هنوز این فناوری نیازمند یک سرمایه‌گذاری اولیه بسیار زیاد نسبت به مولدهای با سوخت فسیلی است.

مهم‌ترین چالش در برابر استفاده از باد به‌عنوان یک منبع انرژی این است که باد ناپایدار است و هنگامی‌که برق موردنیاز است، به‌صورت دائمی نمی‌وزد. انرژی باد را نمی‌توان ذخیره کرد (مگر اینکه از باتری‌هایی برای ذخیره انرژی، استفاده شود) و همچنین نمی‌توان همه بادها را جمع کرد تا جوابگوی برنامه‌های زمانی نیاز به برق باشند.

مکان‌های بادخیز خوب، غالباً در مناطق دورافتاده واقع شده‌اند که از شهرهایی که نیازمند برق می‌باشند فاصله بسیار دارند، البته ممکن است که زمین‌های مناسب و بادخیزی نیز در نزدیکی مناطق نیازمند انرژی وجود داشته باشد، اما استفاده‌های بهتر و باارزش‌تری از آن زمین به عمل آید، نباید فراموش کرد که بهره‌برداری از زمین‌های باارزش حومه شهرهای بزرگ به علت کاربردهای فراوانی که این زمین‌ها دارند، برای ایجاد نیروگاه بادی مقرون به صرفه نیست.

هرچند که نیروگاه‌های بادی در مقایسه با نیروگاه‌های سنتی اثرات مخرب کمتری بر روی محیط زیست دارند، ولی مواردی همچون صدای ایجادشده توسط پره‌های روتور و اثرات بصری از مشکلات آن‌ها هستند و همچنین گاهی اوقات پرندگان با پرواز کردن به سمت روتور این توربین‌ها و درنتیجه برخورد با آن کشته می‌شوند. بسیاری از این مشکلات با پیشرفت‌های فناوری یا با نصب صحیح نیروگاه، حل شده و یا کاهش یافته است.

انواع توربین بادی

توربین‌های بادی به دو صورت دسته‌بندی می‌شوند:

- براساس اندازه توربین‌ها
- نحوه قرارگیری محور توربین در جهت وزش باد

توربین‌های بادی کوچک

از توربین‌های بادی کوچک جهت تأمین برق جزیره‌های مصرف و یا مناطقی که تأمین برق از طریق شبکه سراسری برق مشکل است استفاده می‌شود. این توربین‌ها تا قدرت ۱۰ کیلووات توان تولید برق را دارا هستند.

توربین‌های بادی متوسط

عموماً تولید این توربین‌ها بین ۲۵۰-۱۰ کیلووات است. از این توربین‌ها جهت تأمین مصارف مسکونی، تجاری، صنعتی و کشاورزی استفاده می‌شود.

توربین‌های بادی بزرگ (مزارع بادی)

این نوع توربین‌ها معمولاً شامل چند توربین بادی متمرکز با توان تولیدی ۲۵۰ کیلووات به بالا می‌باشند که به صورت متصل به شبکه و یا جدا از شبکه طراحی می‌گردند.

توربین‌های بادی ازلحاظ قرارگیری محور توربین در جهت وزش باد به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

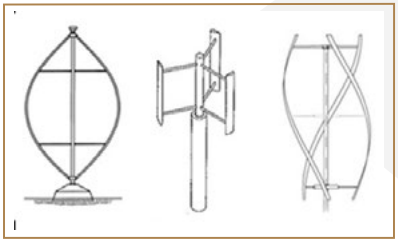
توربین محور عمودی

در توربین‌های بادی با محور عمودی[1] روتور اصلی به صورت عمودی قرار می‌گیرد. مهم‌ترین برتری این نوع از

توربین‌های بادی آن است که نیازی به تنظیم جهت قرارگیری نسبت به جهت وزش باد ندارند. این نکته در مکان‌هایی که جهت وزش باد خیلی متغیر است، مثلاً در بالای ساختمان‌های مسکونی، یک امتیاز به شمار می‌رود. مهم‌ترین عیب این نوع توربین‌ها، کم بودن سرعت دورانی آن‌ها و درنتیجه زیاد بودن گشتاور و هزینه بیشتر سیستم انتقال قدرت، بارگذاری دینامیکی زیاد پره‌ها و همچنین پیچیدگی زیاد طراحی و تحلیل ایرفویل پره‌ها پیش از ساخت است. با توجه به عمودی بودن محور، جعبه‌دنده و ژنراتور می‌توانند در نزدیکی زمین قرار گیرند که این موضوع دسترسی به این تجهیزات را برای نگهداری و تعمیر آسان‌تر می‌کند. در شکل ۴ شماتیکی از این توربین‌ها نشان داده شده است.

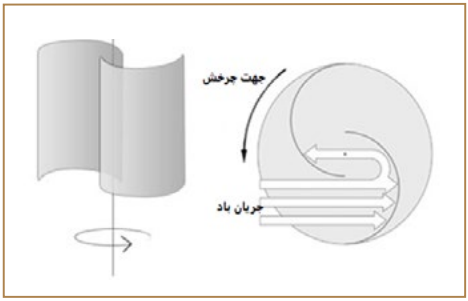
توربین‌های بادی با محور عمودی به شکل‌های مختلفی ساخته می‌شوند. دو نوع عمده آن‌ها، توربین‌های داریوس و ساوونیوس هستند. توربین‌های داریوس و ساوونیوس به‌صورت شماتیک به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده‌اند[۷].

شکل ۴. توربین محور عمودی[۷]



شکل ۵. انواع توربین داریوس[۷]

توربین ساوونیوس در سال ۱۹۲۲ میلادی توسط مهندسی فنلاندی اختراع گردید و در سال ۱۹۲۹ این اختراع به ثبت رسید. این توربین از حداقل دو نیم‌استوانه تشکیل شده است (شکل ۶). مزیت روتور ساوونیوس این است که با وزش بادهایی با سرعت کم (۱ متربرثانیه) به چرخش درمی‌آید. در ضمن فناوری ساخت این توربین‌ها در مقایسه با انواع دیگر بسیار ساده‌تر است [۸].



شکل ۶. توربین ساوونیوس[۸]

مزایای توربین‌های محور عمودی

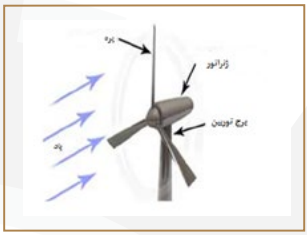
- عدم حساسیت به جهت باد و آشفتگی آن
- عملکرد مناسب و کارا هنگام وزش بادهای مغشوش و گردابه‌ای
- توربین بادی محور عمودی می‌تواند در فاصله‌ای نزدیک‌تر به زمین نصب گردد و جعبه‌دنده و ژنراتور در نزدیکی زمین قرار می‌گیرند که این موضوع سبب امنیت و ارزانی بیشتر در ساخت و نگهداری و تعمیر آسان‌تر آن می‌شود و همچنین برج یا دکل نیاز به پشتیبانی آن ندارد.
- ازآنجاکه نوک پره‌ها در این نوع توربین‌ها به محور دوران نزدیک‌تر است، سروصدای کمتری نسبت به توربین محور افقی تولید می‌کنند.

معایب توربین‌های محور عمودی

- ایجاد نیروی مخالف نسبت به بادی که به پره دیگر می‌وزد.
- به دلیل کم بودن سرعت دورانی پره‌ها، گشتاور زیاد است.
- هزینه بالای طراحی و تحلیل ایرفویل پره‌ها

توربین محور افقی

در توربین‌های بادی با محور افقی[۲] روتور و ژنراتور الکتریکی در بالای یک برج بلند قرارگرفته و باید در راستای باد قرار گیرند. توربین‌های بادی کوچک برای تعیین جهت وزش باد از یک بادنمای ساده استفاده می‌کنند، ولی توربین‌های بزرگ‌تر معمولاً از یک حس‌گر باد که با یک سروو موتور در ارتباط است، استفاده می‌کنند. بیشتر این توربین‌های بادی، با استفاده از یک جعبه‌دنده، سرعت چرخش کُند پره‌ها را به سرعت بیشتری برای ژنراتور تبدیل می‌کنند[۷].



شکل ۷. توربین محور افقی[۷]

مزایای توربین محور افقی

- تیغه‌ها به سمت مرکز گرانش توربین‌اند که به ثبات آن کمک می‌کند.
- تیغه‌ها برای قرارگیری در بهترین زاویه قابلیت پیچ و تاب دارند.
- با پیچ کردن تیغه‌ها به روتور آسیب‌ها در طوفان به حداقل می‌رسد.
- بلندی برج این امکان را می‌دهد تا دسترسی به بادهای شدید و قوی بیشتر شود.
- قابل استفاده در زمین‌های ناهموار و دور از ساحل هستند و بیشتر آن‌ها شروع خودکار دارند.

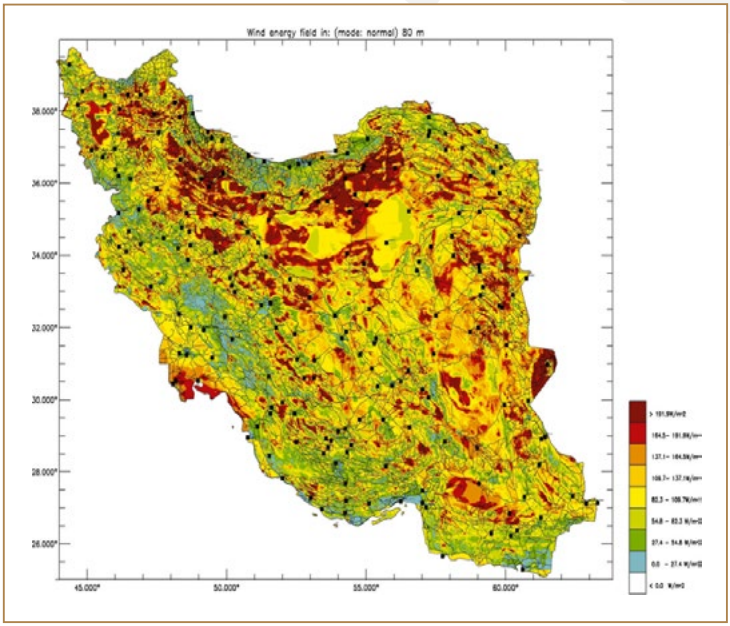
معایب توربین محور افقی

- کارکرد سخت در نزدیک سطح زمین
- سختی در حمل‌ونقل
- مشکل در نصب و راه‌اندازی
- در مجاورت رادار تحت تأثیر قرار می‌گیرد
- تعمیر و نگه‌داری آن سخت است.

چالش‌های موجود در استفاده از انرژی بادی (توربین بادی) و کاربرد نانو فناوری

تأمین برق در سطح کشور از مباحث حیاتی است و با توجه به اهمیت این موضوع، توسعه فناوری تأمین برق با استفاده از انرژی‌های نوین ضروری است؛ بنابراین تأمین برق با استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر بسیار گسترده‌تر شده است و کاربردهای دولتی و صنعتی را شامل می‌شود. همچنین به‌عنوان نیروی پشتیبان در مواقع اضطراری در مخابرات، صنایع پزشکی، ادارات، بیمارستان‌ها و سیستم‌های کامپیوتری به کار می‌رود.

از انرژی‌های تجدیدپذیری که توسعه نسبتاً بیشتری پیدا کرده، انرژی باد است. مطالعات و بررسی‌های انجام‌شده جهت شناسایی انرژی بالقوه باد در ایران و تهیه اطلس باد ایران، کارشناسان انرژی را به این نتیجه رسانده که کشور ایران در بین مناطق مختلف زمین، در میان کشورهای با پتانسیل بادی متوسط قرار دارد و مناطق حاشیه کویر و سواحل جنوبی و شمالی ایران و شهرهایی مثل بندرعباس، کیش، اصفهان و یزد ازلحاظ پتانسیل انرژی بادی در وضع مطلوبی به سر می‌برند. به‌منظور تعیین پتانسیل دقیق باد در کشور پژوهشی توسط سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) با مشارکت شرکت Klimm آلمان به انجام رسید و نقشه اطلس باد کشور در ارتفاع ۴۰ متری ترسیم گردید (شکل ۸). براین اساس ظرفیت تولید برق بادی در کشور در فاز اول ۶۵۰۰ مگاوات برآورد گردید که در فاز دوم تا ۱۰۰۰۰ مگاوات نیز قابلیت افزایش دارد که این میزان معادل ۳۰ درصد کل برق تولیدی کشور در حال حاضر است. به‌رغم پتانسیل باد مناسب، تاکنون استفاده کافی از این انرژی تجدید پذیر نشده است و تا پایان سال ۲۰۱۰ میلادی ظرفیت توربین‌های بادی نصب‌شده تنها ۹۲ مگاوات بوده است. بهترین مکان‌های



شکل ۸. اطلس باد ایران در ارتفاع ۸۰ متری [۸]

بادخیزایران که برای ساخت نیروگاه بادی بسیار مناسب هستند در مناطق کوهستانی البرز و زاگرس واقع شده‌اند. لازم به ذکراست که تاکنون دو نیروگاه بادی در مناطق منجیل و بینالود نصب و به بهره‌برداری رسیده‌اند.

فناوری نانو با توجه به کاهش قیمت و افزایش کاربری، رشد سریعی پیدا کرده است. فناوری نانو در زمینه انرژی کاربردهای بسیاری دارد که روزبه‌روز افزایش پیدا می‌کند. تقاضای استفاده از انرژی، به‌طور بی‌سابقه‌ای افزایش پیدا کرده است. لذا بدون استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی، زندگی بشریت با خطر مواجه خواهد شد؛ بنابراین نقش انرژی‌های تجدید پذیر مثل انرژی باد، اهمیت پیدا خواهد کرد[۹].

از طرفی روش‌های رایج تولید توان مثل سوخت‌های فسیلی اثرات زیست‌محیطی مخربی دارند[۱۰] که استفاده از روش‌های جایگزین تولید برق مثل انرژی باد را ضروری می‌سازند. یک پتانسیل بالا در زمینه تولید برق از انرژی باد توسط توربین‌های بادی در دنیا وجود دارد و رشد صنعت توربین بادی را ضروری می‌سازد و می‌توان حجم قابل‌ملاحظه‌ای از توان لازم را توسط انرژی بادی تأمین کرد و به‌طور مثال تا سال ۲۰۱۴ در دنیا، ۹۶۱۶ مگاوات برق، توسط توربین بادی تولیدشده است[۱۱].

توربین بادی یک گزینه مناسب برای جایگزینی روش‌های سنتی تولید برق است ولی درعین‌حال، دارای یک سری چالش‌های مهم است که عبارت‌اند از:

هزینه ساخت بالای توربین بادی

هزینه اولیه ساخت توربین بادی در مقایسه با سایر روش‌های تولید توان تا حدی بالاتر است[۱۲] استفاده از نانو مواد ارزان‌قیمت برای ساخت پره‌ها و ستون توربین بادی هزینه اولیه تولید انرژی الکتریکی از باد به کمک فناوری توربین بادی را کاهش می‌دهد.

وزن بالای توربین بادی

وزن اجزای توربین بادی مثل پره، برج و ژنراتور پارامتر تأثیرگذاری در حمل‌ونقل و نصب توربین بادی است. افزایش وزن توربین بادی، منجر به افزایش هزینه خود توربین بادی می‌شود و از طرفی هزینه نصب را هم بالا می‌برد. استفاده از فناوری نانو باعث کاهش وزن مواد مصرفی در پروسه ساخت اجزای توربین بادی می‌شود و سبک شدن سازه تا حد امکان را موجب می‌شود.

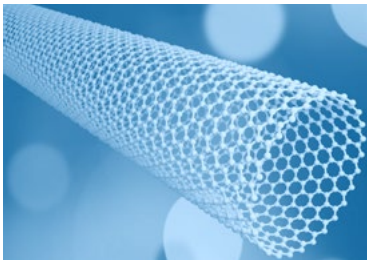
نیاز به استحکام و مقاومت بالای اجزای متحرک توربین بادی

اجزای متحرک توربین بادی به‌خصوص پره‌های توربین بادی به دلیل حرکت در سرعت بالا و قرارگیری در شرایط آب و هوایی نامناسب نیاز به استحکام بالا با به‌کارگیری فناوری‌های نوین می‌باشند. بهره‌گیری از فناوری نانو و به‌خصوص استفاده از نانولوله‌های کربنی در ساخت پره‌های توربین بادی استحکام توربین بادی را بالابرده و عمر مفید کارکرد آن را افزایش می‌دهد.

نیاز به روان‌کاری مداوم و بازرسی دقیق

اجزای توربین بادی مثل گیربکس ژنراتورها نیاز به روان‌کاری مداوم دارند و استفاده از روان‌کننده یا گریس نامناسب و عدم روان‌کاری منظم، عمر قطعات را کاهش می‌دهد. نانوروان‌کارها درواقع نوع پیشرفته روان‌کارها هستند که استفاده از آن‌ها عملکرد توربین بادی را ارتقاء می‌بخشد.

فناوری نانو در استفاده از انرژی بادی (توربین بادی)



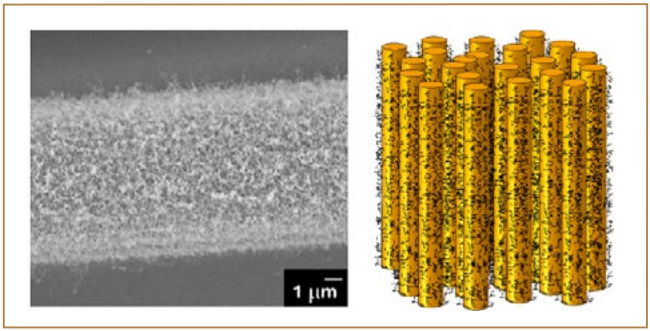
یکی از چالش‌های اصلی مطرح‌شده در توربین‌های بادی، نیاز به استحکام بالا است که این چالش به کمک فناوری نانو تا حد زیادی برطرف می‌شود. روش درمان سستی مکانیکی سطح (SMAT[3]) برای ایجاد سطح ساختاری نوروی سطوح فلزی به‌کاربرده می‌شود و در ساخت صفحه‌ها و لوله‌ها کاربرد دارد[۱۳]. این روش نه‌تنها راندمان را افزایش می‌دهد، بلکه مشکل فتیگ[4] را نیز برطرف می‌کند.

نانوکامپوزیت پلیمری به‌عنوان ماده اصلی در ساخت پره‌های توربین بادی مورداستفاده قرار می‌گیرد. ویژگی‌های نانومواد وابستگی زیادی به خلوص موادی بستگی دارد که در ساختار ماده مورداستفاده قرار می‌گیرد. روش ساخت برای تولید ساختار نانومواد، روش رسوب بخار شیمیایی (CVD[5]) است. اگرچه این روش ساخت، ازلحاظ قیمت، منطقی است ولی باید در فرآیند ساخت، دقت لازم رعایت شود و مسئله دیگری که باید رعایت شود، پراکندگی نانومواد است. فرآیند پراکندگی باید به‌طور کاملاً یکنواخت انجام گیرد. مواد کامپوزیتی که مورداستفاده قرار می‌گیرند، عموماً فایبرگلاس یا فیبرکربن هستند که با به‌کارگیری رزین‌های اپوکسی یا پلی‌استر، تقویت شده‌اند[۱۴].

کاربردهای فناوری نانو در توربین‌های بادی را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

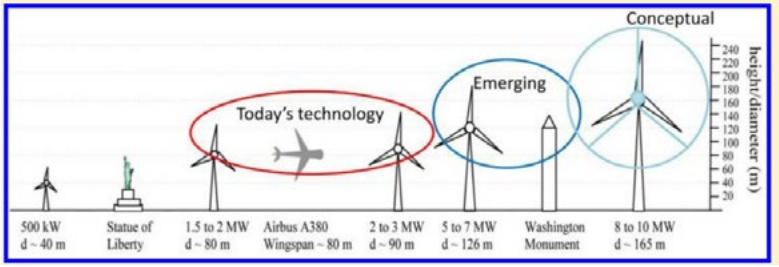
افزایش توان تولیدی توربین بادی به‌وسیله فناوری نانو

یک اپوکسی که دارای نانولوله کربنی باشد در ساخت پره‌های توربین بادی مورداستفاده قرار می‌گیرد. این فناوری باعث می‌شود پره‌های توربین بادی دارای استحکام بیشتری بوده و درعین‌حال وزن کمتری داشته باشند. لذا با فناوری نانولوله‌های کربنی، امکان ساخت پره‌های توربین بزرگ‌تر فراهم می‌آید که درنهایت باعث تولید برق بیشتر توربین بادی می‌شود.



شکل ۹. نانولوله‌های کربنی در پره توربین بادی [۱۵]

یک کامپوزیت فایبرگلاس که به‌وسیله نانوفیبرهای کربن(CNF) تقویت شده باشد، پتانسیل استفاده از توربین های بادی را افزایش خواهد داد و یک تأثیر عمده آن این خواهد بود که توانایی تولید پره های توربین بادی با طول ۴۰ متر و بزرگتر فراهم خواهد شد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰. تولید پره‌های توربین بادی عظیم‌الجثه با کمک نانوفیبرهای کربن [۱۶]

افزایش استحکام سازه توربین بادی به‌وسیله فناوری نانو

به‌تازگی استفاده از توربین‌های بادی فراساحل در کشورهایی که در سطح دریا از این انرژی پاک به‌وفور برخوردارند، رو به گسترش است. فوم‌های ترکیبی به دلیل داشتن مقاومت نسبت به وزن بالا و جذب رطوبت پایین یکی از بهترین گزینه‌ها برای استفاده در سازه این توربین‌ها می‌باشند. تلاش‌ها در جهت افزایش هرچه بیشتر استحکام فوم‌های ترکیبی به روش‌های مختلف در دستور کار محققان قرار دارد. یکی از این روش‌ها افزودن ذرات نانوکلی به ماتریس این فوم‌ها است تا استحکام فشاری آن‌ها تقویت شود. ازاین‌رو شش سری فوم ترکیبی با استفاده از یک نوع میکرو بالن سرامیکی و ماتریس اپوکسی و همچنین شش درصد وزنی مختلف از نانوکلی در ماتریس اپوکسی ساخته شده و تحت آزمایش فشار استاتیک قرار گرفته‌اند. آزمون‌های فشار شبه‌استاتیک با استفاده از دستگاه اینسترون ۵۵۰۰ انجام شده است. همچنین با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی مکانیزم شکست میکرو بالن‌ها و نحوه توزیع آن‌ها در ماتریس اپوکسی بررسی شده است. نتایج نشانگر آن است که حضور ۲٪ وزنی نانوکلی در ماتریس اپوکسی فوم ترکیبی بیشترین تأثیر در افزایش استحکام فشاری را خواهد داشت[۱۷].

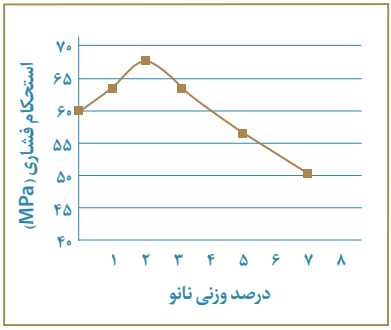
فوم‌های ترکیبی کامپوزیت‌های متشکل از مواد بسیار کوچک توخالی به نام میکرو بالن و ماتریس فلزی، سرامیکی یا پلیمری می‌باشند[۱۸]. با توجه به خواص فیزیکی همسان‌گرد، استحکام و مدول فشاری مخصوص زیاد، جذب رطوبت بسیار پایین و پایداری گرمایی بالا، این مواد نامزد مناسبی برای استفاده در سازه‌های سبک مانند هواپیما، زیردریایی‌ها و غیره هستند[۱۹]. در اکثر موارد فوم‌های ترکیبی با استفاده از رزین‌های پلیمری به‌عنوان ماتریس ساخته می‌شوند. این‌گونه فوم‌ها به‌عنوان هسته پنل‌های ساندویچی علاوه بر مزیت پایداری ابعادی، قابلیت جذب انرژی این پانل‌ها را نیز افزایش می‌دهند[۲۰]. درواقع این توانایی که با ترکیب دو جزء با نسبت‌های مناسب به خصوصیات موردنیاز در ماده نهایی دست یافته شود، این مواد را بسیار جذاب نموده است. ازاین‌رو محققان بسیاری تحقیقات‌شان را بر روی این مواد متمرکز کرده‌اند. در بسیاری موارد اثبات شده است که حضور ذرات نانوکلی خواص کششی و فشاری رزین اپوکسی را بهبود می‌بخشد[۲۱، ۲۲]. این تحقیق نیز تلاشی است

در جهت بررسی تأثیر نانوذرات بر خواص فشاری فوم ترکیبی با ماتریس اپوکسی. ازاین‌رو چند سری فوم ترکیبی با درصدهای وزنی مختلف نانوکلی تحت آزمایش فشار استاتیک قرارگرفته تا تأثیر نانوکلی بر استحکام و مدول فشاری و کرنش شکست فوم ترکیبی بررسی شده و درصد وزنی بهینه نانوکلی تعیین شود.

برای ساخت نمونه‌های فوم ترکیبی از ماتریس اپوکسی و یک نوع میکرو بالن سرامیکی به میزان ۴۰ درصد حجمی استفاده شده است. برای جزء پلیمری از اپوکسی با نام تجاری اپیکوت ۸۲۸[۷] از شرکت رزولوشن[۸] و هاردنر با نام تجاری تری‌اتیلن تترآمین (تتا[۹]) از خانواده هاردنرهای آمینی از شرکت آکزونوبل[۱۰] با درصد ترکیبی ۱۰:۱ استفاده شده است. اپیکوت ۸۲۸ رزینی از خانواده اپوکسی با گران‌روی متوسط متشکل از بیسفنول A و اپی کلروهیدرین است. چگالی ترکیب این دو جزء یا همان رزین خالص طبق استاندارد ASTM C271 محاسبه شده و میزان این چگالی ۱/۱۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب است. میکروبالن سرامیکی بکار رفته نیز با نام تجاری W150 ساخت شرکت آلمانی اُمگامینرال[۱۱] است. قطر ترکیبی میکروبالن‌های استفاده‌شده در حدود ۸۰ میکرون با نسبت ضخامت به قطر ۰/۱ و چگالی مؤثر ۰/۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب است. نانوکلی استفاده‌شده در این تحقیق که برای سیستم‌های اپوکسی مناسب است کلوزیت سی بی[۱۲] (مونت موریلونیت[۱۳] طبیعی اصلاح‌شده با نمک آمونیوم نوع چهارم) است که محصول شرکت آمریکایی سادرن کلی[۱۴] است. رطوبت کلی این نانوکلی کمتر از ۲٪ و چگالی آن حدود ۱/۹۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب اندازه‌گیری شده است. انتخاب نوع نانوکلی ذکرشده به دلیل قطبی بودن سامانه اپوکسی است که هرچه نانوکلی آب‌دوست‌تر باشد، لایه‌لایه شدن و در یک مرحله بالاتر و رقه شدن آن در رزین اپوکسی بهتر رخ می‌دهد. کلوزیت سی بی نیز در بین محصولات این رده آب‌دوستی بالاتری دارد. ازاین‌رو در آزمایش‌های خواص مکانیکی مدول الاستیک بالاتری ارائه می‌دهد. نانوذرات استفاده‌شده به میزان‌های مختلف ۰، ۱، ۲، ۳، ۵، ۷ درصد وزنی در ماتریس فوم بکار گرفته شده است. برای پخش کردن نانوکلی درون رزین و ورقه کردن آن چندین روش استفاده شده که بهترین آن روش اختلاط مستقیم معرفی شده است.

در این روش ابتدا رزین اپوکسی تا دمای ۷۵°C گرم شده تا لزجت آن کاهش یابد و تحرک مولکول‌های آن افزایش پیدا کند. سپس نانوکلی خشک‌شده به آن اضافه شده و مخلوط به‌دست‌آمده به مدت ۱۲۰ دقیقه در همزن مکانیکی با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه هم زده می‌شود. سپس مخلوط ۳۰ دقیقه تحت امواج فراصوتی قرارگرفته تا نانوکلی کاملاً در رزین پخش شود. به مخلوط به‌دست‌آمده، میکروبالن اضافه شده و اجازه داده می‌شود تا دمای مخلوط به دمای اتاق برسد. پس از سرد شدن مخلوط، هاردنر اضافه شده و مطابق با درصد حجمی میکروبالن پس از طی زمان مشخص، قالب‌گیری انجام می‌شود. برای نمونه‌های آزمایش از قالب سیلیکونی استفاده می‌شود. پس از اطمینان یافتن از پایان مراحل واکنش بین رزین و هاردنر قطعات از قالب خارج شده و با عملیات ماشین‌کاری به اندازه دلخواه می‌رسند.

نمودار شکل ۱۱ استحکام فشاری فوم‌های ترکیبی برحسب میزان نانوکلی موجود در آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱. استحکام فشاری فوم ترکیبی برحسب درصدهای وزنی مختلف نانوکلی[۱۷]

نتایج بیانگر آن هستند که با افزایش میزان نانوکلی تا ۲٪ وزنی، استحکام فشاری فوم تا ۱۵٪ افزایش می‌یابد. در این حالت ذرات اپوکسی به‌خوبی به درون لایه‌های صفحات نانوکلی نفوذ کرده است. به‌واسطه اتصال مناسبی که بین آن‌ها وجود دارد، هنگام بارگذاری مقداری از بار را صفحات نانوکلی تحمل کرده و علاوه بر افزایش مدول و کاهش تغییر شکل در یک بار معین، استحکام فوم را افزایش می‌دهد.

کاهش اتلاف توان در خطوط انتقال برق توربین‌های بادی به‌وسیله فناوری نانو

محققان دانشگاه رایس[۱۵] روی کابل و سیم های انتقال توانی تحقیق کرده‌اند که شامل نانولوله کربنی است و مقاومت داخلی تا حد قابل‌ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرده است که این خود نهایتاً منجربه اتلاف انرژی کمترو راندمان بیش‌ترسیستم‌های تولید توان انرژی بادی می‌شود.

افزایش استحکام یاتاقان‌ها و گیربکس‌های توربین بادی به‌وسیله فناوری نانو

گیربکس‌ها و یاتاقان‌های ژنراتورهای توربین بادی از اجزای توربین بادی هستند که شامل بیشترین خرابی می‌شوند، لذا استفاده از نانومواد و یا پوشش نانو در ساخت این تجهیزات سبب افزایش کارکرد و خرابی کمترمی‌شود.

افزایش عمر گیربکس‌ها به‌وسیله نانوروان‌کارها

گیربکس توربین بادی به دلیل آنکه جزء اجزای متحرک توربین بادی است، لذا نیاز به تعمیرو نگهداری بالایی دارد و استفاده از نانوروان‌کارها باعث کاهش ضریب اصطکاک و کاهش میزان ساییدگی و درنتیجه کاهش سروصدا و کاهش هزینه تعمیرو نگهداری می‌شود.

در جدول ۱ نمونه‌ای از فناوری‌های مختلفی که در زمینه روان‌کارها استفاده می‌شود، آورده شده است. این فناوری‌ها در زمینه روان‌کارها با استفاده از نانوذرات، ایده‌ها و محصولاتی را ارائه داده‌اند که در جدول ۱ به‌صورت خلاصه معرفی شده‌اند.

جدول۱. فناوری‌های موجود در زمینه نانوذرات مورد استفاده در روان‌کارها[۲۳]

مشخصه	فناوری	مکان	نام محصول
غیرقابل حل در روغن	بوریک اسید جامد	تحقیقاتی	بوریک اسید Boric Acid
سوسپانسیون	کلرید فلز در خاک	MI,USA	CerMet
کلوییید جامد	MoS_2 با سطح اصلاحی	AK,USA	Nanoglide
سوسپانسیون	AL_2O_3, SiO_2 وگرافیت	آلمان	NanoVit
کلوییید جامد	نانوذرات پلیمری با Si	CA,USA	CerMax
کلوییید جامد	نانوذرات بورات	IN,USA	DRD Additives
کلوییید جامد	نانوذرات مبتنی بربورات Si	Calgary	Maryn Rs-037

بهینه‌سازی فناوری ذخیره برق تولیدی توربین بادی به کمک فناوری نانو

یکی از چالش‌های سیستم‌های توربین بادی، اجزای ذخیره‌ساز انرژی مثل باتری‌ها هستند که عمر کارکرد محدود دارند و به‌کارگیری فناوری نانو در پروسه ساخت ذخیره‌سازها مثل باتری، سبب راندمان بالاتر و افزایش عمر و درنتیجه کاهش هزینه کلی سیستم می‌شود.

محصولات صنعتی

در داخل کشور تحقیقات بسیار زیادی در مورد ساخت و بهینه‌سازی توربین‌های بادی صورت گرفته است و چندین مدل توربین بادی ساخته‌شده است ولی تابه‌حال شرکتی در زمینه ساخت اجزای توربین بادی به کمک نانوفناوری، وجود نداشته است و محصول تجاری در این زمینه تولید نشده است. در جهان محصولات مختلفی مرتبط با توربین بادی وجود دارد که در ساخت آن‌ها از فناوری نانو بهره گرفته‌اند، در جدول ۲ به معرفی برخی از این محصولات پرداخته شده است.

جدول ۲. نمونه‌ای از محصولات صنعتی در جهان

تصویر محصول	نام محصول	شرکت
	Hybrid Turbines	Nanotech indoneisia [24]
	Solar Wind Hybrid System	Supernova Technologies Pvt Ltd [25]
	Wind Power Gear Oil	Zhengzhou Dongshen Petro-chemical Technology Co. Ltd [26]
	MULTI-PURPOSE LUBRI-CANT - 12OZ AEROSOL CAN	NANO LUBE CORPORATION [27]
	Wind Power Generator Bearing Lubricating Grease	Zhengzhou Dongshen Petro-chemical Technology Co. Ltd [28]

خلاصه مدیریتی

ایـران از ظرفیـت بسـیار مطلوبـی بـرای تولیـد بـرق از انـرژی تجدیدپذیـر بـادی برخـوردار اسـت. انـرژی پایـدار از زیرساخت‌های اساسی توسعه پایدار و اقتصاد کشور است. با توجه به اتمام سوخت‌های فسیلی کشورها ازجمله ایـران، در آینـده‌ای نه چنـدان دور مجبـور به سـرمایه‌گذاری در فنـاوری انرژی‌های نـو ازجمله انرژی بادی هسـتند. فناوری نانو می‌تواند در زمینه تولید برق به کمک توربین بادی نقش مؤثری ایفا کند و استحکام اجزای اصلی توربین بادی که شامل پره‌های توربین، سازه و ژنراتور هستند را با به‌کارگیری فناوری نانو بالابرده و درعین حال وزن و هزینه ساخت را تا حد امکان کاهش دهد. هم‌چنین با استفاده از فناوری نانو در اجزای فرعی توربین بادی مثل روان‌کارها و ذخیره‌ساز، راندمان سیستم را بالا رفته و هزینه تعمیر و نگهداری سیستم توربین بادی کاهش می‌یابد.

پی‌نوشت‌ها

۱ Vertical Axis Wind Turbine
۲ Horizontal Axis Wind Turbine
۳ Surface Mechanical Attrition Treatment
۴ Fatigue
۵ Chemical Vapor Deposition
۶ Carbon Nanofibers
۷ Epikote 828
۸ Resolution
۹ Teta
۱۰ AkzoNobel
۱۱ OmegaMinearl Ltd. Co.
۱۲ Closite 30B
۱۳ Montmorillonite
۱۴ Southern Clay
۱۵ Rice

مراجع

۱ گزارش وضعیت جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر ۲۰۱۵، ترجمه محمدحسین سیدان، جواد عبدالهی سروی

۲ Renewable Energy Policy Network for the 21st century, "Renewable 2015 Global Status Report". www.REN21.NET.

۳ www.wikipedia.org.

۴ Wind Power Beginning, "Illustreated history of wind power".

۵ عبدالحمید نیرنوری، سهم ایران در تمدن جهان، بررسی‌های تاریخی ششم، ش ۳۳، مهر ۱۳۵۰

۶ پورتال وزارت نیرو، http://moe.gov.ir.

۷ http://www.satba.gov.ir

۸ Dursun Ayhan, S afak Saglam. A Technical Review of Building-mounted Wind Power System and a Sample Simulation Model. Renewable and Sustainable EnergyReview16; (2012); 1040-1049

۹ Serrano, Elena, Guillermo Rus, and Javier Garcia-Martinez. "Nanotechnology for sustainable energy." Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, no. 9 (2009): 2373-2384.

۱۰ HERDMAN, RC. "Studies of the Environmental Costs of Electricity." US Congress, Office of Technology Assessment-OTA" Washington, DC, 1994.

۱۱ Dursun, Bahtiyar, and Cihan Gokcol. "Impacts of the renewable energy law on the developments of wind energy in Turkey." Renewable and Sustainable Energy Reviews 40 (2014): 318-325.

۱۲ Tejeda, Jenny, and Susan Ferreira. "Applying Systems Thinking to Analyze Wind Energy Sustainability." Procedia Computer Science 28 (2014): 213-220.

۱۳ Li, Ying, and Jian Lu. "Lightweight structure design for wind energy by integrating nanostructured materials." Materials & Design 57 (2014): 689-696.

۱۴ Ng, Kai-Wern, Wei-Haur Lam, and Saravanan Pichiah. "A review on potential applications of carbon nanotubes in marine current turbines." Renewable and Sustainable Energy Reviews 28 (2013): 331- 339.

۱۵ Dai, G.M. Mishnaevsky, L. Jr. Carbone nanotube reinforced hybrid composites: Computational modelling of environmental fatigue and usability for wind blades. Compos. Part B 2015, 78, 349–360

۱۶ Merugula, L. Khanna, V. Bakshi, B.R. Reinforced Wind Turbine Blades—An Environmental Life Cycle Evaluation. Environ. Sci. Technol. 2012, 46, 9785–9792

۱۷ افزایش استحکام سازه‌های توربین‌های بادی فراساحل با افزودن نانو ذرات، دومین کنفرانس تخصصی فناوری نانو در صنعت برق و انرژی، اردیبهشت ۱۳۹۳

۱۸ Gibson Lorna J, Ashby Michael F. Cellular Solids – structure and properties. Second ed. UK: Cambridge University Press; 1999.

۱۹ Ashida Kaneyoshi, Iwasaki Kadzuo. In: Landrock Arthur H, editor. Handbook of plastic foams – types, properties, manufacture and applications. New Jersey: Noyes Publications; 1995.

۲۰ Gupta, N. Woldesenbet E. "Hygrothermal studies on syntactic foams and compressive strength determination", Composite Structures, Vol. 61, No. 4, 2003, pp. 311-320.

۲۱ Lau, K. Hui, D. Effectiveness of using carbon nanotubes as nanoreinforcements for advanced composite structures. Carbon, 2002; 40 (9): 1605-1606.

۲۲ Morlat, S. Mailhot, B. Gonzalez, D. Gardette, J.L. Photo-oxidation of Polypropylene/Montmorillonite Nanocomposites. 1. Influence of Nanoclay and Compatibilizing Agent. Chem Mater, 2004; 16 (3): 377- 383.

۲۳ مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو گزارش شماره ۸۸، سال ۱۳۹۴

۲۴ https://product.statnano.com/product/9893

۲۵ https://product.statnano.com/product/8181

۲۶ https://product.statnano.com/product/2481

۲۷ https://product.statnano.com/product/8172

۲۸ https://product.statnano.com/product/2488