توربین‌های بادی نوین و نقش آنها در آیندهٔ سیستم‌های انرژی

جاماسب پیرکندی[1]، رضا حربی منفرد[2]

۱ استادیار مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، jamasb_p@yahoo.com

۲ دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۱۰

چکیده

افزایش روزافزون مصرف انرژی و محدودیت‌های سوخت فسیلی، بشر امروز را بر آن داشته تا به فکر منابع انرژی دیگری باشد. انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله مناسب‌ترین و کارآمدترین منابع جایگزین برای سوخت‌های فسیلی هستند و طی سالیان اخیر به‌شدت مورد توجه صنعتگران و پژوهشگران قرار گرفته‌اند. انرژی باد به‌عنوان یکی از منابع انرژی تجدیدپذیر از سال‌ها دور مورد توجه بشر بوده است. در سال‌های اخیر، استفاده از توربین‌های بادی با محور عمودی و افقی مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است. اما استفاده از آنها همواره مشکلات فراوانی درپی داشته است که از جمله مهمترین آنها می‌توان به نیاز به پره‌های بزرگ بر روی برج‌های غول‌پیکر در صورت نیاز به تولید توان بالا و هزینهٔ بالای راه‌اندازی آنها اشاره کرد. هدف از ارائهٔ این مقاله معرفی توربین‌های بادی نوین در دو بخش پره‌دار و بدون پره است. برای این منظور، با معرفی اجزای تشکیل‌دهندهٔ هر کدام از توربین‌ها، نحوهٔ عملکرد آنها مورد بررسی قرار گرفته است. مقایسهٔ توربین‌های بادی معرفی‌شده و توربین‌های بادی مرسوم از دیگر مواردی است که در این مقاله مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، توربین بادی، پره‌دار، بدون پره

۱. مقدمه

سیستم‌های تبدیل انرژی جنبشی باد دارای قدمت سه هزار ساله‌اند. پیشینهٔ استفاده از آسیاب‌های بادی با محور عمودی به سه هزار سال قبل در سیستان ایران باز می‌گردد. از کاربردهای اولیهٔ استفاده از انرژی باد می‌توان به حرکت قایق‌ها، خنک‌سازی خانه‌ها توسط گردش هوا، حرکت ماشین‌ها در مزارع و جز این‌ها اشاره کرد. در اواخر سدهٔ ۱۹ و اوائل سدهٔ ۲۰ میلادی تبدیل انرژی جنبشی باد به انرژی الکتریکی به‌عنوان نقطهٔ عطفی در صنعت انرژی‌های باد محسوب گردید. به‌دلیل روند روبه کاهش منابع سوخت فسیلی و بحران کمبود انرژی، در سال‌های اخیر استفاده از توربین‌های بادی با محور عمودی و افقی مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است. سازندگان توربین‌های بادی سعی بر بهبود عملکرد آنها در سال‌های گذشته داشته‌اند، اما تلاش‌های آنها در این زمینه کافی نبود. مثلاً استفاده از توربین‌های بادی با توان تولیدی بالا نیازمند پره‌های بسیار بزرگ بر روی برج‌های غول‌پیکر می‌باشد که این مسئله سبب افزایش مساحت زمین مورد نیاز و هزینهٔ راه‌اندازی آنها می‌شود.

از سوی دیگر، معمولاً مدت از کار افتادگی و هزینهٔ تعمیر توربین‌های بادی بسیار زیاد است. توربین‌های بادی مرسوم همچنین به‌دلیل حرکت پره‌ها سبب به خطر افتادن زندگی پرندگان و انسان می‌گردد. آلایندگی‌های بصری از دیگر مضرات توربین‌های بادی مرسوم است. از دیگر مشکلات استفاده از این نوع توربین‌های بادی می‌توان به مراحل ساخت، حمل‌ونقل و نصب و نگه‌داری آنها اشاره کرد. به‌دلیل برخی مشکلات در استفاده از توربین‌های بادی مرسوم، طی سال‌های اخیر مبتکران سعی بر ایجاد نگرش جدیدی برای طراحی توربین‌های بادی داشته‌اند [۱].

با توجه به اهمیت موضوع، در این مقاله توربین‌های بادی نوین در دو نوع پره‌دار و بدون پره معرفی شده و نحوهٔ عملکرد هرکدام از آنها مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه عملکرد توربین‌های بادی مرسوم و نوین از تمام جوانب مقایسه شده است. معرفی اجزای تشکیل‌دهندهٔ این دسته از توربین‌های بادی از دیگر موارد مطرح‌شده در این مقاله خواهد بود. گفتنی است در این مقاله منظور از توربن بادی مرسوم توربین بادی با محور افقی و عمودی رایج در بازار می‌باشد.

۲. توربین‌های بادی پره‌دار

۲-۱. توربین بادی اینولکس

اینولکس[1] به‌معنای افزیش سرعت باد است. توربین‌های بادی اینولکس با الگوگیری از ایدهٔ بادگیرهای شهر یزد اختراع و بهره‌برداری شده‌اند (شکل ۱).

شکل ۱. توربین بادی اینولکس [۲]

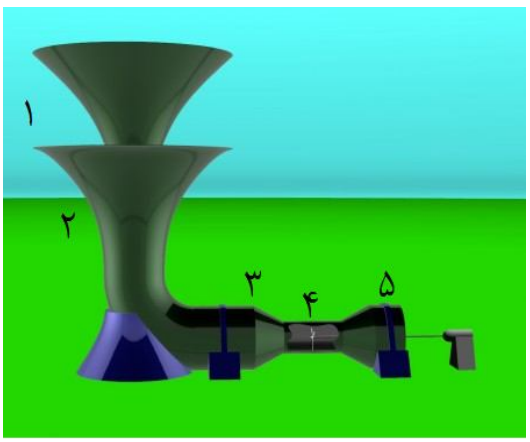
این نوع توربین بادی با حذف ابر پروانه‌ها در بالای ستون‌های غول‌پیکر مزایای خیره‌کننده‌ای را وارد بازار تولید انرژی می‌کنند. چون توربین بادی اینولکس و ژنراتور در یک سطح قرار دارند، در شرایط محیطی دشوار قرار نمی‌گیرند؛ در نتیجه این سیستم از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار است [۱].

از دیگر مشخصات این نوع توربین بادی می‌توان به ایمنی کامل در مراحل استفاده، نداشتن آلودگی صوتی و زیست‌محیطی و هرگونه قسمت دوار در بالای دکل اشاره کرد. با در نظر گرفتن حجم هوای ورودی به کانال، توربین بادی اینولکس قادر به تولید توان ۵۰۰ وات تا ۲۰ مگاوات است. با توجه به موارد

ذکرشده و به‌دلیل توجیه اقتصادی، این نوع توربین بادی قابلیت رقابت با مولدهای سوخت‌های فسیلی در چرخه تولید برق را دارد. به‌زودی کشورهای اروپایی و آسیایی از جمله چین، کرهٔ جنوبی و امارات متحدهٔ عربی از انرژی پاک این فناوری استفاده خواهند کرد [۲].

۲-۱-۱. نحوهٔ عملکرد

توربین بادی اینولکس برخلاف توربین‌های بادی مرسوم در یک کانال قرار می‌گیرد. در شکل ۲ نمایی شماتیک از نحوهٔ عملکرد این نوع توربین بادی نمایش داده شده است.



شکل ۲. نمایی شماتیک از توربین بادی اینولکس

نقطهٔ ۱ بخش مکش (ورودی باد) این نوع توربین بادی است. به‌دلیل اختلاف فشار داخل کانال و هوای محیط، باد اطراف کانال به داخل مجرا انتقال می‌یابد. باید توجه داشت که توربین بادی و بخش مکش باد به‌صورت جداگانه از هم قرار دارند. بنابراین با توجه به شرایط محیطی و سرعت نامی توربین بادی و با در نظر گفتن اندازهٔ توربین بادی می‌توان حجم هوای ورودی را با تغییر اندازهٔ مجرا تنظیم کرد. نقطهٔ ۲ محل شتاب‌دهی باد در توربین است. در این بخش سرعت باد توسط کانال افزایش می‌یابد. در نقطهٔ ۳ توسط لولهٔ ونتوری سرعت باد بهبود می‌یابد. وقتی قطر لوله کوچک می‌شود، با توجه به معادلهٔ پیوستگی سرعت باد زیاد می‌شود و فشار افت می‌کند و انرژی جنبشی با تغییرات فشار به تعادل می‌رسد. در نقطهٔ ۴ انرژی جنبشی توسط توربین بادی اینولکس به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. باید توجه داشت که توربین بادی و ژنراتور در این قسمت هم‌سطح با زمین قرار می‌گیرند. نقطهٔ ۵ نیز یک دیفیوزر است و ترکیب دیفیوزر با نازل منجر به امکان استفاده از حداکثر سرعت باد برای توربین بادی می‌شود [۱].

۲-۱-۲. مقایسهٔ موردی با توربین‌های بادی مرسوم

در این بخش در چند بند توربین بادی اینولکس با سایر توربین‌های بادی مرسوم مقایسه شده است.

۱. توربین بادی با محور افقی در بهترین حالت با سرعت ۲ متر بر ثانیه توان الکتریکی تولید می‌کند، این در حالی است که سرعت قطع پایین توربین‌های اینولکس حدود ۱ متر بر ثانیه است. همچنین سرعت قطع بالای باد در توربین‌های اینولکس بسیار بیشتر از توربین‌های بادی مرسوم است.

۲. توربین‌های بادی اینولکس نسبت به سایر توربین‌های مرسوم اندازهٔ کمتر و عملکرد بالاتری دارند. از طرف دیگر، این نوع توربین‌ها قطعات متحرک کمتری نیز دارند. مزارع بادی ایجادشده بر پایهٔ این نوع توربین‌ها نیاز به مساحت کمتری دارد [۱-۲]. طراحی پره‌های توربین‌های بادی اینولکس به‌گونه‌ای است که در مقایسه با توربین‌های بادی با محور افقی، تأثیرپذیری کمتری نسبت به جریان گردابه‌ای و دنباله‌دار دارد [۱]. توربین‌های بادی مرسوم براساس قوانین فیزیک سیالات باید با توربین بعدی ۵ تا ۱۰ برابر قطر هاب فاصله داشته باشد، این در حالی است که این فاصله برای توربین‌های مجهز به فناوری اینولکس حداکثر دو برابر ارتفاع برج است [۳]. به‌طور متوسط برای یک پروژهٔ ۱۰۰ مگاواتی، مزرعهٔ توربین بادی اینولکس تنها ۱۰ درصد از زمین لازم برای یک مزرعه توربین بادی مرسوم می‌باشد. به‌عبارت دیگر برای زمینی به مساحت ۲۵۰۰ هکتار مزرعه توربین بادی مرسوم قادر به تولید توان ۱۰۰ مگاوات است، این در حالی است که توربین‌های بادی اینولکس برای این مساحت از زمین قادر به تولید ۱۴۰۰ مگاوات می‌باشند.

۳. براساس تحقیقات انجام‌شده در زمینهٔ مقایسهٔ هزینه‌های اولیه و بهره‌برداری توربین‌های بادی اینولکس، استفاده از این نوع توربین‌ها در مقایسه با توربین‌های بادی مرسوم مقرون به‌صرفه‌تر است [۳].

۴. چرخش پره‌های توربین‌های بادی رایج سبب آلودگی صوتی و لرزش سایه‌ها شده که این مسئله منجر به نصب این نوع توربین‌ها در فواصل بسیار زیاد نسبت به مناطق مسکونی شده است. از سوی دیگر، این مسئله منجر به آلودگی‌های صوتی با فرکانس پایین (فروصوت) و ایجاد بیماری‌های قلبی، مغزی، کم‌خوابی و جز این‌ها می‌شود. این عارضه سندرم توربین بادی نام دارد. با حذف برج‌های غول‌پیکر، توربین بادی اینولکس به‌طور چشمگیری میزان تولید این نوع از آلودگی‌های صوتی را کاهش داده و همچنین به‌طور کامل سبب حذف مشکل لرزش سایهٔ پره‌ها می‌شود.

۵. از جمله موارد دیگر می‌توان به کاهش چشمگیر خطر برخورد پرندگان به پره‌ها، عدم ایجاد مشکل برای رادارهای نظامی و هوانوردی، قابلیت نصب در مناطق نزدیک به شبکه‌های توزیع برق، کاهش هزینه‌های اجرا و همچنین کاهش احتمال یخ‌زدگی پره‌ها اشاره کرد. برای درک بهتر این بخش، اطلاعات عملکردی این دو نوع توربین در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. مقایسهٔ عملکرد توربین بادی اینولکس و توربین بادی با محور افقی [۱]

پارامتر	توربین بادی با محور افقی	توربین بادی اینولکس
مدل آزمایش	سان فورس ۶۰۰[۲]	سان فورس ۶۰۰
قطر روتور (متر)	۱/۳۱	۱/۳۱
سرعت نامی (متر بر ثانیه)	۱۲/۵	۶/۲۵
توان نامی (وات)	۶۰۰	۶۰۰
ولتاژ (ولت)	۲۴	۲۴
حداکثر جریان نامی (آمپر)	۳۵	۳۵
ژنراتور	سه‌فاز	سه فاز
سرعت قطع پایین باد (متر بر ثانیه)	۲	۱
سرعت قطع بالای باد (متر بر ثانیه)	۲۵	۶۰
تعداد پره‌ها	۳	۳
ارتفاع برج	۱۰	۱۸/۳
حداکثر گشتاور مجاز (دور بر دقیقه)	۱۴۰۰	۱۴۰۰

۲-۲. توربین بادی شناور در هوا

همان‌گونه که در بخش‌های قبل نیز اشاره شد، یکی از بزرگترین مشکلات استفاده از توربین‌های بادی مرسوم ناتوانی آنها در تولید توان بالا در ارتفاعات زیاد است. توربین‌های بادی شناور در هوا[۳] بدون نیاز به ساخت برج‌های مرتفع با ترکیب فناوری مهندسی مکانیک و هوافضا این مشکل را برطرف کرده‌اند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، این نوع توربین بادی قادر به شناور شدن در هوا تا ارتفاع ۶۰۰ متری است؛ در این ارتفاع به‌دلیل شدت باد، قادر به تبدیل انرژی جنبشی بیشتری به انرژی الکتریکی می‌باشند.

۲-۲-۱. نحوهٔ عملکرد

توربین‌های بادی شناور شامل بالن، توربین با محور افقی سبک با سه پره، کابل (وظیفهٔ نگه‌داری بالن و انتقال الکتریسیته به سطح زمین را دارد) و ایستگاه زمینی می‌باشند. نحوهٔ عملکرد این نوع توربین به این صورت است که بالن توسط گاز هلیوم پر می‌شود و تا ارتفاع مورد نیاز بالا می‌رود. توربین‌ها توسط انرژی جنبشی باد به‌حرکت درآمده و سپس انرژی الکتریکی تولید شده توسط کابل‌ها به زمین منتقل می‌شود. از توربین‌های بادی شناور می‌توان برای تأمین برق در مناطق دورافتاده، پالایشگاه‌ها، معادن، کشاورزی، ارتباطات از راه دور و همچنین در موارد مربوط به امدادرسانی استفاده کرد [۴].

۲-۲-۲. مقایسهٔ موردی با توربین‌های بادی مرسوم

در این بخش توربین بادی شناور در هوا با انواع مرسوم مقایسه شده است. این نوع توربین بادی قادر به تولید توان نامی به اندازه دو برابر توربین‌های بادی مرسوم است. همچنین قابلیت نصب در مناطق نامناسب و کم مساحت را دارد و کمترین تأثیر را بر محیط و سلامت

انسان دارد. هزینهٔ حمل‌ونقل و نصب این نوع توربین‌ها ۹۰ درصد کمتر از توربین‌های مرسوم است. توربین‌های بادی شناور قادر به تولید توان الکتریکی در طول ۲۴ ساعت در شبانه‌روز می‌باشند. برخلاف توربین‌های بادی مرسوم حمل و نصب این نوع توربین‌ها ساده است.

شکل ۳. توربین بادی شناور در هوا

۳. توربین‌های بادی بدون پره

۳-۱. توربین‌های بادی سافونیان

توربین‌های بادی مرسوم به‌دلیل داشتن پره، سروصدای زیادی تولید می‌کنند و جان بسیاری از پرندگان را به‌خطر می‌اندازد. برای حل این مشکل، سافونیان[۴] از فناوری بدون پره بهره می‌برد که این مسئله به تولید انرژی کاملاً بدون ضرر منجر می‌شود. طراحی این توربین از بادبان کشتی‌ها الهام گرفته شده است [۵]. در ادامه این تحقیق نحوهٔ عملکرد و ویژگی‌های این نوع توربین بادی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

۳-۱-۱. نحوهٔ عملکرد

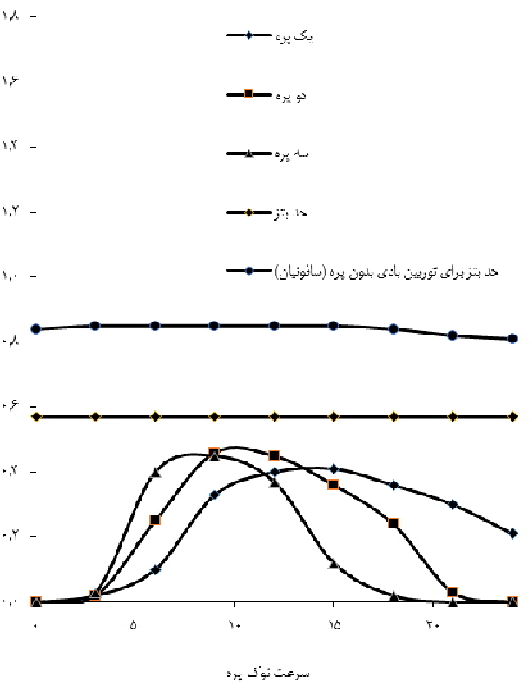
همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در توربین‌های بادی سافونیان به‌جای پره از یک دیسک استفاده می‌شود. دیسک در جهت باد به ۵ سیلندر هیدرولیکی متصل شده است. تا زمانی که باد می‌وزد، دیسک تکان خورده و با حرکت پیستون‌ها انرژی بادی را به فشار هیدرولیکی و سپس به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. تبدیل انرژی می‌تواند توسط موتورها و ژنراتورها صورت پذیرد [۵].

۳-۱-۲. مقایسهٔ موردی با توربین‌های بادی مرسوم

در این بخش با توجه به اطلاعات حاصل از شرکت سازنده به مقایسهٔ این توربین بادی با توربین‌های بادی مرسوم پرداخته شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بازده واقعی این توربین بادی حدود ۸۰ درصد بوده و توان تولیدی آن به‌صورت نمایی با افزایش سرعت افزایش می‌یابد. توربین‌های بادی مرسوم به‌دلیل داشتن پارامتری به نام سرعت نامی، قادر به تولید توان بالاتر

در سرعت بادهای بیش از سرعت نامی نیستند. این در حالی است که در توربین بادی سافونیان چنین پارامتری وجود ندارد و هم‌گامی حرکت دیسک با سرعت بادهای مختلف آن را قادر می‌سازد تا با بیشترین بازده در هر سرعتی از باد کار کند.

شکل ٤. توربین بادی سافونیان [٥]



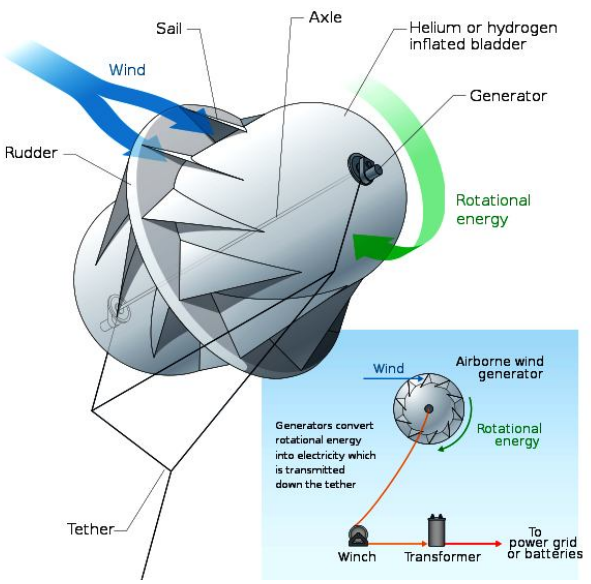
شکل ٥. مقایسهٔ عملکرد توربین بادی مرسوم و سافونیان

با حذف تعدادی از اجزای گران‌قیمت یک توربین بادی مانند پره‌ها، جعبه‌دنده و هاب و تنها با افودن یک دیسک ائرودینامیکی و یک سیستم هیدرولیکی، هزینهٔ ساخت یک توربین بادی سافونیان تقریباً نصف قیمت تمام‌شدهٔ یک توربین بادی مرسوم با همان توان مساوی خواهد بود [٥]. به‌دلیل شکل ائرودینامیکی این دیسک‌ها، سرعت باد در جریان آشفته نه‌تنها سبب کاهش عملکرد آن نمی‌شود، که منجر به افزایش نیروی ائرودینامیکی و در نتیجه توان تولیدی این توربین بادی می‌گردد.

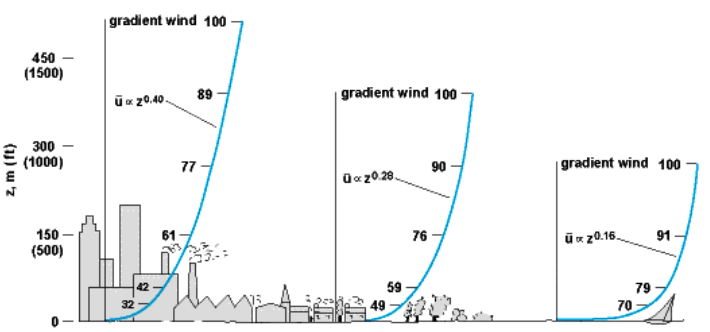
به‌دلیل همین ویژگی‌ها، توربین بادی سافونیان در شهرها و مجتمع‌های بزرگ قابل استفاده است و اتصالات شبکه را نسبت به توربین‌های بادی مرسوم به حداقل می‌رساند. از طرف دیگر توربین‌های بادی سنتی به‌دلیل متغیر بودن سرعت باد، به‌عنوان سیستم‌های تولید توان غیرقابل اطمینان می‌باشند. لذا این نوع توربین با صرف هزینهٔ زیاد در کنار باتری‌ها یا پیل‌های سوختی به‌عنوان سیستم هیبریدی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶]. برای حل این نمونه مشکلات توربین بادی سافونیان انرژی بادی را به‌صورت انباشتگی هیدرولیکی ذخیره می‌کند و در مواقع مورد نیاز می‌تواند از آن استفاده نماید. این خصوصیت را می‌توان مهمترین ویژگی توربین بادی سافونیان نامید.

۳-۲. توربین‌های بادی هوابرد

توربین بادی هوابرد[۵] یک طراحی نوین برای تولید الکتریسیته از انرژی بادی می‌باشد. این نوع توربین بادی بدون استفاده از برج‌های مرتفع و پره‌های بزرگ و تنها با استفاده از یک روتور و ژنراتور کار می‌کند. همان‌گونه که درشکل ۶ مشاهده می‌شود، در این نوع توربین‌ها ژنراتور درون بالن پلاستیکی قرار می‌گیرد. اصلی‌ترین چالش این طراحی قرارگیری این توربین بادی در ارتفاعات و انتقال توان تولیدی به زمین و همچنین تداخل آن با هواپیماست. نحوهٔ عملکرد این توربین بادی بدین صورت است که بالن پلاستیکی توسط باد به چرخش در آمده و ژنراتور توسط روتوری که به بالن متصل است، انرژی الکتریکی تولید می‌کند.



شکل ٦. توربین بادی هوابرد [۷]



شکل ۷. تغییرات سرعت باد برحسب ارتفاع از سطح زمین [۷]

الکتریسیته توسط کابل به زمین منتقل و به شبکه ارسال می‌شود. باید توجه داشت که به‌دلیل چرخش بالن یک نیروی لیفت ایجادشده که بالن توسط این نیرو در آسمان معلق می‌ماند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که بلندترین توربین بادی مرسوم درون لایهٔ مرزی و مرتفع‌ترین توربین بادی شناور در هوا در خارج از لایه مرزی قرار دارند (شکل ۷).

۳-۳. توربین‌های بادی درختی

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات نصب سیستم‌های تولید توان بر پایهٔ انرژی‌ها تجدیدپذیر نازیبایی آنهاست که گاهی باعث زشتی منطقه می‌شود. پژوهشگران و طراحان ایده‌های جدیدی برای حل این مسئله ارائه داده‌اند. ابداع صفحات خورشیدی شفاف[۶] و سفید رنگ[۷] با شکل جدید به‌عنوان پنجره در ساختمان‌ها (شکل ۸) یکی از این موارد است. متخصصان توربین‌های بادی نیز با ساخت توربین‌های بادی درختی[۸] نسل جدیدی از توربین‌های بادی با طراحی زیبا ارائه داده‌اند که از فیزیک جدیدی برخوردار می‌باشند. همان‌گونه که در شکل ۹ نمایش داده شده است، این توربین‌های بادی، که مشابه درخت هستند، از مجموعه‌ای پرهٔ توربین شبیه برگ درختان تشکیل شده و ۷۲ برگ مصنوعی در آنها به‌کار رفته است. هر برگ در واقع توربینی با محور عمودی می‌باشد که فقط به‌خاطر زیبایی به‌شکل مخروط ساخته شده است. جرم برگ‌ها بسیار کم بوده و به‌همین دلیل یک نسیم ملایم با سرعت ۲ متر بر ثانیه هم می‌تواند انرژی لازم را تولید کند. انرژی کل تولیدشده توسط ۷۲ توربین حدود ۳/۱ کیلووات تخمین زده شده است. اگرچه توربین‌های بادی مرسوم انرژی بیشتری تولید می‌کنند، اما به باد با سرعت بیشتری نیاز دارند، به‌همین دلیل روزهای کارکرد آنها نیز کمتر می‌شود.

شکل ۸ صفحات خورشیدی شفاف [۸]

شکل ۹. توربین بادی درختی [۸]

درخت بادی با ۱۱ متر ارتفاع و ۸ متر قطر سطح مقطع بر روی زمین، کاملاً اندازهٔ یک درخت واقعی بوده و از نظر شکل هم زیباست. یکی از بزرگ‌ترین مزایای این توربین‌ها توانایی استفاده از آنها در محیط شهری و مناطق مسکونی است که علاوه بر زیبایی ظاهری، بدون ایجاد هرگونه آلودگی صوتی کار و تولید انرژی می‌کنند.

۴. جمع‌بندی

یکی از سیاست‌های مهم بخش انرژی در کشور جایگزینی سوخت‌های فسیلی با منابع تجدیدپذیر و استفاده از سوخت‌های باصرفه و مطابق با استانداردهای محیط زیست است. در این راستا استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر همانند انرژی باد به‌جای

سوخت‌های فسیلی مد نظر کشورها قرار دارد. جمهوری اسلامی ایران نیز به‌لحاظ دارابودن مناطق بادخیز فراوان از قابلیت بالایی جهت استفاده از انرژی بادی برخوردار است. امروزه استفاده از توربین‌های بادی مرسوم مشکلاتی را برای محیط زیست و انسان‌ها به‌وجود آورده است. این توربین‌ها برای تولید توان بالا نیاز به برج‌های غول‌پیکر داشته که این مسئله خود به صرف هزینه‌های بسیار بالا منجر می‌شود. از طرف دیگر فاصلهٔ زیاد این توربین‌ها نسبت به شبکه‌های توزیع برق و همچنین کارآیی پایین آنها در سرعت‌های پایین باد سبب یافتن طراحی توربین‌های بادی مناسب گشته است. توربین‌های بادی اینولکس و شناور در هوا نوع جدیدی از توربین‌های بادی با پره هستند که قادر به تولید توان بالا بدون استفاده از برج‌های غول‌پیکر بوده و بسیاری از مشکلات استفاده از توربین‌های بادی مرسوم را حل کرده‌اند. توربین‌های بادی سافونیان، هوابرد و درختی از جمله توربین‌های جدید بدون پره‌ای هستند که به‌دلیل نوع طراحی و فیزیک خاص خود جایگزین مناسبی برای توربین‌های بادی مرسوم هستند. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که نسل جدیدی از توربین‌های بادی در راه است که علاوه بر حل مشکلات توربین‌های بادی مرسوم مزیت‌های فراوانی نسبت به آنها دارند.

۵. مآخذ

[1] Allaei, Daryoush, and Yiannis Andreopoulos. "INVELOX: Description of a new concept in wind power and its performance evaluation." *Energy* 69 (2014): 336-344.

[2] Sheerwind, http://sheerwind.com (ccessed June 2, 2015).

[۳] مهدی‌آبادی پ.، "روش نوین برای تولید انرژی برق بادی در زاهدان؛ ایران"، دهمین همایش بین‌المللی انرژی، تهران، ۱۳۹۳.

[4] http://www.altaerosenergies.com, accessed June 2, 2015.

[5] http://www. saphonenergy.com, (accessed May 2, 2015).

[۶] پیرکندی، ج.، حربی منفرد، ر، "بررسی کاربرد توربین‌های بادی در سیستم‌های هیبریدی نوین"، *مهندسی مکانیک*، ش. ۱۰۰، اردیبهشت ۱۳۹۴.

[7] http://www.windturbinezone.com, (accessed June 12, 2015).

[8] http://www.treehugger.com (accessed May 5, 2015).

پی‌نوشت

1. Invelox
2. Sunforce 600
3. buoyant airborne turbine
4. Saphonian
5. airborne wind turbine
6. see-through solar panels
7. white solar panels
8. tree shaped wind turbines

دوره های نرم افزاری انجمن مهندسان مکانیک ایران

Abaquse	Thermo Flow	Comsol	Catia	Matlab
۵ آذر ماه	۱۱ آذرماه	۲۶ آذرماه	۱۸ آذرماه	۲۶ آذرماه
از ساعت ۹ الی ۱۳	از ساعت ۱۴ الی ۱۸	از ساعت ۹ الی۱۳	از ساعت ۱۴ الی ۱۸	از ساعت ۹ الی ۱۳

- در پایان دوره به دانش پذیران گواهینامه معتبر اعطا خواهد شد.
- دانشجویان و اعضاء انجمن به ترتیب شامل ۱۰ و ۲۰ درصد تخفیف می شوند.
- جهت ثبت نام و رزرو دوره به سایت www.isme.ir مراجعه فرمایید.

021-88900965
09100641245
education@isme.ir