Archive of SID
DOR: 20.1001.1.24234931.1399.7.1.8.5

سال هفتم، شماره اول، تابستان ۱۳۹۹ ص ص ۶۵- ۷۳

فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۲۳

راهبرد استفاده از انرژی بادی در مناطق شهری توسط توربین‌های بادی محور عمودی هیبریدی

نیما ابوفاضلی[۱]، پویان هاشمی طاری[۲]*، رقیه گوگ‌ساز قوچانی[۳]، مجید زندی[۴]

۱- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک تبدیل انرژی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲- استادیار، دکتری مکانیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۳- استادیار، دکتری برق، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۴- استادیار، دکتری برق، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

*تهران، P_hashemi@sbu.ac.ir

چکیده

از مباحث چالش برانگیز در بهره‌گیری از انرژی بادی، استفاده از توربین‌های بادی در مناطق شهری است. به علت ساختار پیچیده این مناطق، باد، مغشوش بوده و با تغییر سرعت ناگهانی همراه است. به این علت متداول است که در این مناطق از توربین‌های بادی محور عمودی (داریوس-ساوینیوس) که مستقل از جهت باد عمل می‌کنند استفاده شود. در پژوهش پیش‌رو مروری جامع و کامل بر مطالعه‌های اصلی در این حوزه انجام شده است. به‌علاوه، چالش‌های پیش‌رو در استفاده از انواع توربین‌های بادی محور عمودی مطرح گردیده‌اند. از چالش‌های مطرح در این حوزه استفاده ترکیبی (هیبریدسازی) دو نوع توربین بادی داریوس و ساوینیوس است. در توربین داریوس ضریب توان بالاتر بوده و در توربین ساوینیوس امکان راه‌اندازی در سرعت‌های پایین‌تر باد وجود دارد. در این پژوهش کاربردی‌تر کردن این سیستم (توربین بادی محور عمودی هیبریدی داریوس-ساوینیوس) مورد بررسی قرار گرفته است و پیشنهادها نیز ارائه شده است. طبق پژوهش انجام شده برای حذف تأثیر مخرب روتور توربین ساوینیوس بر روتور توربین داریوس در سرعت‌های بالای باد استفاده از یک کلاچ مکانیکی، برای جداسازی این دو روتور در سرعت‌های دورانی بالا، پیشنهاد شده است.

کلیدواژگان: انرژی تجدیدپذیر، مناطق شهری، توربین بادی محور عمودی، ساوینیوس، داریوس.

www.SID.ir

Archive of SID

The strategy for the use of wind power in urban areas by hybrid vertical axis wind turbines

Nima Aboufazeli[1], Pooyan Hashemi Tari[2*], Roghayeh Gavagsaz-ghoachani[3], Majid Zandi[4]

۱- Department of Mechanical Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
۲- Department of Mechanical Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
۳- Department of Electrical Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
۴- Department of Electrical Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
* Tehran, Iran, P_hashemi@sbu.ac.ir

Received: 27 April 2019 Accepted: 14 August 2019

Abstract:

Using wind turbines in urban areas is one of the most challenging issues in using wind energy. due to the complex structure of urban areas, the fluid flow turbulence and the change in wind speed in these areas is significant. It is common that vertical axis (Darrieus-Savonius) wind turbines in that operate independently of the wind direction is commonly used. In this research, a comprehensive overview of major studies in this area has been carried out. In addition, challenges of using a variety of vertical axis wind turbines are mentioned. on of the challenge in this topic is using a hybrid wind turbines, with two types of Darrieus and Savonius. Darrieus turbines have high power coefficient, While Savonius turbines have the ability to start very well even at low wind speeds. In this research, it has been studied to make this system more functional and some suggestion have been presented. In order to eliminate the destructive effect of the Savonius turbine rotor on the Darrieus turbine rotor at high wind speeds, a mechanical clutch is proposed for separating these two rotors at high rotational speeds.

Keywords: Renewable energy, urban area, vertical axis wind turbine, savonius, darrieus

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

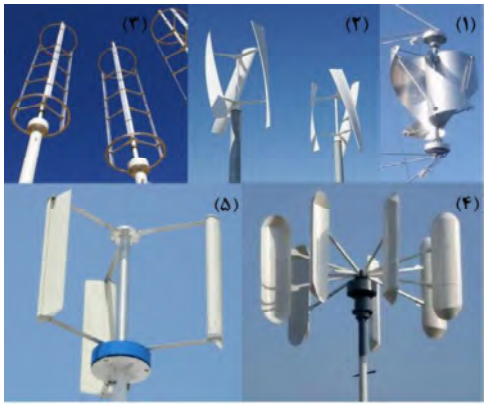
در دهه‌های گذشته تأمین انرژی الکتریسیته وابسته به سوخت‌های فسیلی بوده است. محدودیت این سوخت‌ها از یک سو و از سوی دیگر افزایش روزافزون تقاضای انرژی باعث نگرانی‌های بشر شده است. پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که سوخت‌های فسیلی دیگر قادر به پاسخگویی افزایش مداوم تقاضای انرژی نیست و همچنین هزینه دستیابی به آنها به دلیل محدودیت منابع آن افزایش خواهد یافت. ادامه استفاده از این نوع سوخت‌ها، باعث افزایش نرخ آلاینده‌های زیست‌محیطی مانند افزایش درصد دی‌اکسیدکربن در اتمسفر می‌شود [۱].

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند راه‌حلی مناسب برای برطرف نمودن معایب استفاده از سوخت‌های فسیلی باشد. در یک دسته‌بندی کلی، منابع اولیه انرژی‌های تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی زمین‌گرمایی، انرژی هیدروژنی (پیل‌های سوختی)، زیست انرژی و انرژی برق‌آبی به‌منظور بهره‌وری جهت تولید انرژی الکتریکی به‌کار می‌رود. همچنین انرژی‌های تجدیدپذیر در سه زمینه تولید انرژی مصرفی، سرمایش، گرمایش و حمل و نقل به خصوص برای مناطق به دور از شبکه بسیار کاربرد دارند و در حال گسترش هستند [۲]. این در حالی‌است که در بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ ظرفیت نیروگاه‌های خورشیدی نصب شده در اروپا با افزایش ۵۰ برابری به ۹۵ گیگاوات و ظرفیت نیروگاه‌های بادی به ۱۴۲ گیگاوات رسیده است [۳].

در میان انواع مختلف منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، باد به‌عنوان یکی از ارزان‌ترین و در دسترس‌ترین این منابع انرژی است [۴]. بنابراین از انرژی باد نیز می‌توان برای جلوگیری از آثار مخرب سوخت‌های فسیلی در تأمین انرژی الکتریسیته استفاده کرد.

استحصال انرژی باد توسط دستگاه‌های توربین بادی انجام می‌گیرد. توربین‌های بادی بر اساس یک نوع دسته‌بندی به دو نوع محور عمودی و محور افقی تقسیم‌بندی می‌شوند [۵]. بهره‌گیری از انرژی‌های بادی در گذشته بیش‌تر توسط توربین‌های بادی محور افقی و در مزارع بادی صورت می‌گرفته است [۶].

در دهه‌های گذشته تحقیق‌های بسیاری برای بهره‌گیری از انرژی باد در مناطق شهری صورت گرفته است. بسیاری از این تحقیق‌ها نشان می‌دهد که توربین‌های بادی محور عمودی عملکرد بهتری نسبت به توربین‌های بادی محور افقی در مناطق شهری دارد [۷] و [۸]. درواقع با توجه به ویژگی‌های ساختار شهری و مزایایی که توربین‌های بادی محور عمودی دارد (شکل ۱) باعث شده تا این توربین‌ها، جذابیت بیش‌تری برای مناطق شهری داشته باشد [۹-۱۰].



شکل ۱: انواع توربین‌های بادی محور عمودی (۱)ساوینیوس مارپیچی (۲)داریوس مارپیچی (۳)داریوس ۳ پره‌ای طبقاتی (۴)ساوینیوس قاشقی (۵)داریوس پره مستقیم [۱۱].

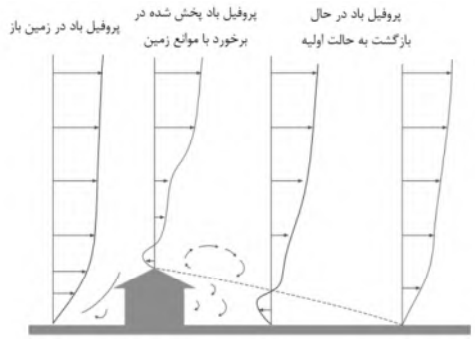
هدف از این پژوهش بررسی شرایط بادهای موجود در مناطق شهری و انتخاب بهترین نوع از انواع مختلف توربین‌های بادی برای این مناطق است. بر این اساس، مقاله پیش‌رو شامل دو قسمت کلی است. قسمت اول شامل بررسی ساختاری مناطق شهری و جریان سیال باد در آن است. در قسمت دوم به مقایسه سه انواع توربین‌های بادی و مزایا و معایب آن‌ها پرداخته شده‌است. در قسمت نتیجه‌گیری بهترین توربین بادی برای این مناطق معرفی شده است.

۲- شرایط سیال باد در مناطق شهری

یکی از مهم‌ترین مناطقی که باید بررسی‌های لازم برای نصب توربین‌های بادی و تأمین انرژی الکتریسیته در آن مناطق صورت گیرد مناطق شهری است. پیش از بررسی‌های لازم برای نصب توربین‌های بادی، شرایط باد در این مناطق باید مطالعه شود. یکی از عوامل تأثیرگذار بر شرایط باد در مناطق شهری آشفتگی جریان باد است. روش‌های متفاوتی برای محاسبه میزان آشفتگی این جریان وجود دارد اما در ابتدای امر بدیهی است که میزان آشفتگی جریان سیال باد در مناطق شهری بیش‌تر از مناطق غیر شهری است [۱۲]. بنا به ساختار شهری و صافی سطح آن، منطقه‌ای با آشفتگی بالا وجود دارد که بسیار بر قدرت باد و جهت آن تأثیر می‌گذارد [۱۳]. وجود موانع در مناطق شهری، عامل ایجاد آشفتگی در جریان سیال و کم شدن سرعت باد شده است. این ویژگی‌ها باعث شده تا استفاده از انرژی باد در مناطق شهری مشکل باشد. در واقع در مقایسه با مزارع بادی، مناطق شهری ویژگی‌هایی مانند متوسط سرعت سالانه پایین، اغتشاش جریان و تغییر سریع جهت باد را دارند [۱۴]. علاوه بر این‌ها، وجود ساختمان‌های بلند باعث تخریب بسیار شدید جریان در مناطق بالادست آن‌ها شده‌است [۱۵]. در شکل ۲ نحوه تخریب لایه‌مرزی جریان سیال باد توسط ساختمان‌ها دیده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: تخریب جریان سیال در مناطق شهری [۱۶].

با توجه به ساختار شهری، استفاده از توربین‌های بادی در ابعاد کوچک[1] برای حل مشکل‌های این منطقه پیشنهاد شده است، در حالی‌که قابلیت اطمینان در عمل‌کرد آن‌ها مهم است [۱۷].

علاوه بر آن استفاده از توربین‌های بادی در ابعاد بزرگ معایبی مانند نیاز به مساحت زیاد، تأثیر بر کیفیت توان شبکه و اتلاف انتقال انرژی تولید شده است [۱۷]. از توربین‌های بزرگ به‌طورکلی در مزارع بادی استفاده می‌شود. مزارع بادی قابلیت حل مشکل‌های آلودگی محیط‌زیستی و مصرف آب ناشی از تولید انرژی را دارد، اما مشکل آلودگی صوتی، تأثیر نظری و اثر مخرب بر حیات‌وحش عواملی ا ست که همچنان باعث نگرانی در استفاده از آن‌ها می‌شود [۱۸]. هر نوع از توربین بادی در مناطق شهری با توجه به ابعاد کوچک آن، به ازای هر وات گران‌تر از مزارع بادی است. اما با توجه به مزایایی که دارند در طولانی مدت استفاده از انرژی بادی در شهر قابل توجیه باشد [۱۹].

در سال‌های اخیر با توجه به مزایای توربین‌های بادی در ابعاد کوچک، توجه زیادی به آن‌ها شده است، به‌طوری‌که تا پایان سال ۲۰۱۴ به مقدار ۸۳۰ مگاوات توربین‌هایی در ابعاد کوچک در سراسر جهان نصب شده است، که به میزان ۱۰/۹٪ افزایش نسبت به سال گذشته‌اش داشته است [۲۰].

سه نوع ایده برای استفاده از توربین‌های بادی در شهر وجود دارد [۱۹]:

۱. طراحی جداگانه توربین‌ها برای نصب روی ساختمان‌ها؛
۲. یکپارچه‌سازی توربین‌های بادی با طراحی ساختمان‌های موجود؛
۳. یکپارچه‌سازی توربین‌های بادی با ساختمان‌ها به‌طوری‌که طراحی توربین و ساختمان در هم ادغام شده‌است.

توربین های بادی در ابعاد کوچک قابلیت طراحی یکپارچه با ساختمان‌های جدید و حتی موجود را دارد [۲۱].

استفاده از توربین‌های بادی در شهر باعث متعادل کردن مصرف سوخت می‌شود، چرا که بخشی از انرژی شهری از این طریق تولید می‌شود. این در حالی است که ۷۵٪ از انرژی‌های مصرفی مربوط به مناطق شهری است [۲۲].

۳- توربین‌های بادی مناسب اقلیم شهری

تا به امروز، تحقیق‌های قابل توجهی در مورد انرژی باد وجود دارد که به‌طور عمده بر ارزیابی انرژی باد منطقه‌ای، توابع توزیع سرعت باد، جنبه‌های اقتصادی انرژی باد و سیاست‌های انرژی باد منطقه‌ای پرداخته‌است. تمام این پژوهش‌ها در کنار تحقیق‌های به مراتب بزرگتر در مورد ایرودینامیک توربین های بادی و طراحی آن ها وجود دارد [۵و۲۳].

با توجه به پیشرفت‌های توربین‌های بادی در چندین سال اخیر و ابداع هر توربینی با توجه به نیاز هر منطقه و هر اقلیمی، دسته‌بندی‌های متفاوتی از این دستگاه وجود دارد. یک نوع دسته‌بندی توربین‌های بادی بر اساس محور چرخش آنها است. توربین‌ها بر اساس محور چرخش دارای دو دسته توربین‌های بادی محور عمودی و توربین‌های بادی محور افقی هستند. در واقع اگر محور چرخش توربین‌های بادی موازی با جهت وزش باد باشد، توربین های بادی محور افقی و اگر محور چرخش توربین‌های بادی، عمود بر جهت وزش باد باشد، توربین‌های بادی محور افقی هستند.

استفاده از توربین های بادی محور عمودی و یا محور افقی برای مناطق شهری، به عوامل متعددی مانند سرعت شروع به کار توربین، عمل‌کرد و انعطاف‌پذیری در نصب توربین‌ها، محدودیت ارتفاع و ساختار منطقه از لحاظ تأثیر ساختاری منطقه بر عوامل محیطی و از همه مهم‌تر سرعت باد غالب بستگی دارد. علاوه بر این‌ها قابلیت اطمینان تولید انرژی بار مورد نیاز توسط توربین، هزینه کلی، طراحی بهینه شده و تعمیر و نگهداری از توربین‌ها گزینه‌های مهم دیگری است [۱۶].

توربین های بادی محور افقی از نظر شکل، اندازه و کاربرد دارای ویژگی‌های متفاوتی هست. متداول‌ترین آن‌ها توربین‌های بادی سه پره‌ای

[1] Micro WT

www.SID.ir

Archive of SID

رو به باد هستند و به‌طور معمول در ابعاد بزرگ برای مزارع بادی استفاده می‌شود.

در مناطق شهری با توجه به وجود ساختمان‌هایی با ساختار سه بعدی، جریان سیال باد بسیار پیچیده می‌شود و باعث ایجاد موج‌هایی در حرکت باد می‌گردد [۱۳]. به‌واسطه حساسیت بالایی که توربین‌های بادی محور افقی نسبت به تغییر جهت باد و شدت آشفتگی باد دارد، تأثیر منفی بر عمل‌کرد آن‌ها به واسطه باد شهری وجود دارد [۲۴]. از سوی دیگر می‌توان این توربین‌ها را در ارتفاع بسیار بالایی نصب کرد تا باد با قدرت زیاد و آشفتگی کم را دریافت کند، اما این موضوع باعث افزایش هزینه اولیه و هزینه تعمیر و نگه‌داری می‌شود و از سوی دیگر متناقض با مناظر شهری می‌شود. همچنین این توربین‌ها مشکل خطر برای پرنده‌ها، تولید و تعمیر و نگهداری را دارد. علاوه بر آن سایز پره‌های این نوع توربین‌ها محدودیت ایجاد می‌کند [۲۵].

توانایی توربین‌های بادی محور عمودی در عمل‌کرد قابل قبول در الگوهای جریان باد آشفته و غیریکنواخت، این نوع توربین‌ها را برای کاربردهای ابعاد کوچک در مناطق شهری، جایی که جریان‌های باد غیرمنظم رایج می‌باشد، گزینه مناسبی کرده است [۲۶]. عامل دیگر برای گسترش این نوع توربین‌ها، بحث هزینه آن‌ها است. به‌طورکلی هزینه توربین‌ها شامل هزینه ساخت، آماده‌سازی سایت، تعمیر و نگهداری و دیگر اجزا توربین مانند ژنراتور و کابل و گیربکس است [۸]. پره‌های توربین‌های محور عمودی به‌طور معمول یکدست‌تر از پره‌های توربین‌های محور افقی است. بنابراین طراحی و ساخت ساده‌تری نسبت به توربین‌های محور افقی دارد و هزینه ساخت آنها کمتر خواهد بود [۲۷و۲۸]. توربین‌های بادی محور عمودی به‌واسطه قبول کردن باد از هرجهت نیاز به سیستم یاو ندارد و این عامل نیز باعث کاهش هزینه‌های توربین و پیچیدگی کم آنها شده است [۲۱]. از طرفی در مناطق شهری تغییر جهت باد، بیش‌تر از سایر مناطق جغرافیایی است. از آن‌جایی‌که توربین‌های بادی محور عمودی حساسیت کمتری نسبت به آشفتگی جریان باد دارند، این عامل نیز این نوع توربین‌ها را مناسب مناطق شهری کرده است[۹، ۲۹، ۳۰]. از طرفی، توربین‌های شهری نباید متناقض با مناظر شهری باشد. توربین‌های محور عمودی این خواسته را برآورده می‌کند [۳۱] و ویژگی خوبی برای طراحی یکپارچه با مناظر شهری دارد [۳۲]. این نوع توربین‌ها سرعت دورانی پایین‌تر و آلودگی صوتی کمتری نسبت به نوع محور افقی دارد و این نیز عامل دیگری است که این نوع توربین‌ها را مناسب برای مناطق شهری کرده است. علاوه بر این‌ها، این نوع توربین‌ها به‌طور معمول، قابلیت تحمل در برابر تندبادها را دارد و به این علت برخلاف توربین‌های بادی محور افقی نیاز به ترمز ندارد. این موضوع نیز باعث کاهش هزینه آنها می‌شود [۲۹]. سیستم الکتریکی توربین‌های بادی محور عمودی بر روی زمین قرار دارد، اما در توربین‌های بادی محور افقی، هاب[۱] توربین در بالای برج و ارتفاع زیاد قرار دارد. بنابراین هزینه تعمیر و نگهداری توربین‌های محور عمودی به‌شدت کاهش پیدا می‌کند. علاوه بر تحقیق‌های که بر توربین‌ها به واسطه توان خروجی آن‌ها انجام می‌گیرد، وزن توربین‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که باید مورد مطالعه قرار گیرد [۳۳]. به‌طور کلی توربین‌های بادی محور عمودی به واسطه کاهش سیستم‌های کنترلی و برج نگه‌دارنده، وزن کمتری نسبت به نوع محور افقی دارد. درنتیجه توربین‌های بادی محور عمودی با هزینه، پیچیدگی و وزن کم متناسب با فضای شهری است و در صورت احداث این نوع توربین‌ها در مناطق شهری تلفات انتقال توان، به علت نزدیکی به مرکز تقاضا، کاهش می‌یابد [۳۴].

۴- انواع توربین‌های بادی محور عمودی

توربین‌های محور عمودی به دو دسته توربین داریوس و ساونیوس تقسیم‌بندی می‌شود. اساس کار توربین‌های داریوس بر اساس نیروی برآر[۲] است. از نظر تئوری توربین‌های داریوس دارای انواع مختلفی در شکل است. در بین تمامی انواع توربین‌های داریوس، نوع H پرکاربردترین نوع این توربین‌ها است [۳۰]. در مقابل توربین‌های داریوس، عمل‌کرد توربین ساونیوس بر اساس نیروی پسا[۳] است. توربین ساونیوس دارای پیچیدگی طراحی کمتری نسبت به نوع داریوس آن است.

یکی از پارامترهای اساسی در مقایسه عمل‌کردی توربین‌های بادی متفاوت، ضریب توان و نسبت سرعت نوک پره آن‌ها است. ضریب توان به صورت نسبت توان خروجی توربین به توان باد تعریف می‌شود و از لحاظ تئوری به طور بیشینه می‌تواند تا حد بتز و یا ۵۹/۳٪ باشد [۳۵]. در معادله ۱ محاسبه ضریب توان آورده شده است.

$$C_p = \frac{P_{Turbine}}{P_{Wind}} \qquad (۱)$$

$P_{Turbine}$ توان واقعی تولید شده توسط توربین و P_{Wind} توان قابل استحصال از باد است.

نسبت سرعت نوک پره (TSR) به صورت نسبت سرعت چرخش پره‌ها به سرعت باد تعریف می‌شود. نحوه محاسبه آن در معادله ۲ آورده شده است.

$$TSR = \frac{R.\omega}{V} \qquad (۲)$$

[۱] Hub
[۲] Lift Force
[۳] Drag force

www.SID.ir

Archive of SID

R شعاع پره، ω سرعت دورانی پره و V سرعت باد است.

توان قابل استحصال از باد توسط معادله ۳ محاسبه می‌شود.

$$P_{Wind} = {}^{1}/_{2}\,\rho A V^{3} \qquad (۳)$$

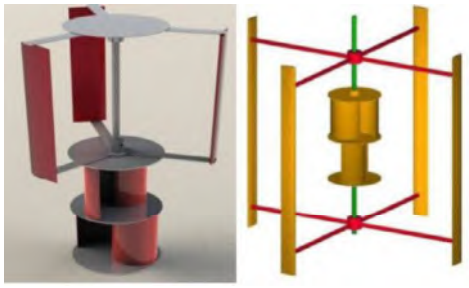
A سطح جاروب شده توسط پره‌های روتور و ρ_{air} وزن مخصوص هوا (چگالی یا دانسیته) است. این مقدار در شرایط استاندارد برابر با ۱/۲۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب است.

توربین‌های بادی داریوس به‌طور معمول دارای ضریب توان بالایی است. از نظر عملی بیشینه ضریب توان نوع داریوس تا ۴۵٪ می‌رسد [۳۶]. توربین‌های بادی داریوس در سرعت‌های بالای باد شروع به حرکت می‌کند [۳۷]. با توجه به ساختار مناطق شهری و سرعت باد پایین به نظر می‌رسد که این توربین نیاز به یک راه‌انداز اولیه دارد.

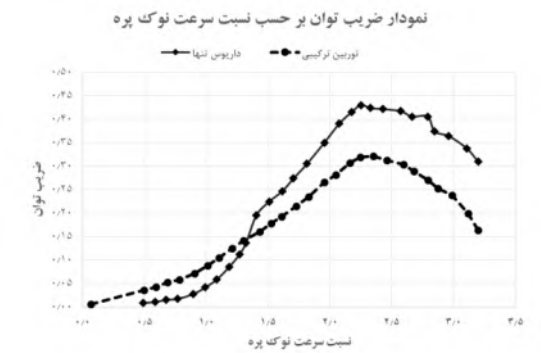
توربین‌های بادی ساونیوس دارای مزایای بسیاری مانند طراحی و ساخت ساده به همراه هزینه کم، سرعت دورانی و صدای کم، هزینه تعمیر و نگهداری پایین به‌وا سطه سایش کمینه در قطعه‌های متحرک و راه‌اندازی در سرعت‌های باد پایین هست [۳۸]. با توجه به مزیت‌های توربین ساونیوس، تحقیق‌های بسیاری در زمینه‌های تئوری، تجربی و عددی روی این توربین‌ها انجام شده است؛ اما ضریب توان توربین ساونیوس پایین است و بیشینه ضریب توان در محدوده ۱۵٪ تا ۳۰٪ است [۳۹].

با ترکیب کردن توربین‌های ساونیوس و داریوس به شکل یک توربین بادی محور عمودی هیبریدی می‌توان از مزیت‌های هریک از این توربین‌ها بهره برد (شکل ۳). توربین محور عمودی هیبریدی به وا سطه وجود توربین ساونیوس در سرعت‌های کم باد سرعت شروع به راه‌اندازی می‌کند و در نتیجه سیستم توربین هیبریدی را راه‌اندازی می‌کند. همچنین این سیستم دارای ضریب توان بالا، به واسطه عمل‌کرد توربین داریوس است.

پژوهش‌های بسیاری در را ستای ترکیب کردن این دو توربین انجام گرفته است [۴۰]. به‌طور معمول ضریب توان توربین هیبریدی کمتر از توربین داریوس تنها است. یکی از عوامل آن ضریب توان منفی توربین ساونیوس در سرعت‌های دورانی بالا ا ست. در واقع در آن ناحیه توربین ساونیوس، نه‌تنها توانی ایجاد نمی‌کند بلکه وارد ناحیه منفی ضریب توان شده و بخشی از توان تولیدی توربین داریوس را نیز برای گردش خود مصرف می‌کند. مشاهده تفاوت عمل‌کردی این دو نوع توربین توسط مرجع [۴۱] به صورت تجربی صورت پذیرفته و نتایج آن در نمودار شکل ۴ دیده می‌شود.



شکل ۳: نمونه توربین بادی محور عمودی هیبریدی ساونیوس-داریوس

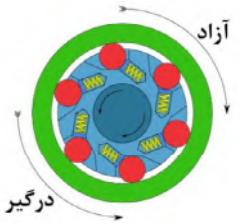


شکل ۴: نمودار ضریب توان برحسب سرعت نوک پره برای مقایسه توربین داریوس با هیبریدی [۴۱].

با اضافه کردن یک کلاچ مکانیکی و یا الکتریکی بین توربین ساونیوس و داریوس می‌توان از اعمال بار اضافی توربین ساونیوس بر توربین داریوس جلوگیری نمود و ضریب توان توربین هیبریدی افزایش یابد. در این صورت توربین ساونیوس تنها وظیفه راه‌اندازی سامانه را برعهده دارد و هنگامی‌که وارد محدوده ضریب توان منفی خود می شود، از سیستم جدا شده و تنها توربین داریوس با ضریب توان بالا خروجی خواهد داشت. در شکل ۵ شماتیک مکانیزم کلاچ مکانیکی رولر آورده دیده می‌شود. کلاچ مکانیکی تنها در جهت ساعتگرد آزاد است و در جهت مخالف درگیر است. بنابراین روتور ساونیوس، روتور داریوس را می‌چرخاند اما برعکس آن امکان‌پذیر نیست.

www.SID.ir

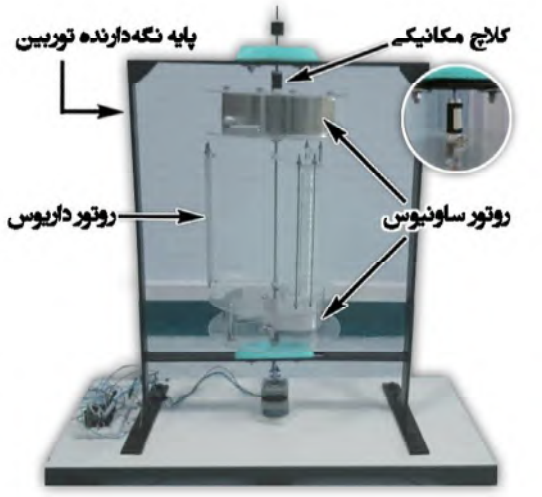
Archive of SID



شکل ۵: شماتیک مکانیزم کلاچ مکانیکی رولر.

جایگذاری توربین ساونیوس نسبت به توربین داریوس در توربین هیبریدی، به روش‌های مختلفی ممکن است. امکان قرار دادن توربین ساونیوس بر بالا یا پایین و یا درون توربین داریوس بر روی یک محور وجود دارد که هرکدام مزایا و معایب خود را خواهد داشت. روش دیگر چند طبقه ساختن توربین ساونیوس است. امکان نصب یک طبقه توربین ساونیوس در بالا و یک طبقه در پایین توربین داریوس باعث بالاتر شدن کارایی توربین محور عمودی هیبریدی خواهد شد. این نوع از ترکیب توربین‌ها از تخریب جریان باد توسط توربین ساوینیوس برای توربین داریوس جلوگیری می‌کند و همچنین گشتاور راه‌اندازی به نسبت بهتری نسبت به سایر انواع توربین‌ها دارد.

در شکل ۶ نمونه آزمایشگاهی ساخته شده توربین بادی محور عمودی هیبریدی در مجموعه آزمایشگاهی مهندسی انرژی های تجدیدپذیر دانشگاه شهید بهشتی قابل مشاهده است. در این توربین از کلاچ مکانیکی بین دو نوع توربین استفاده شده‌است و همان‌طور که انتظار می‌رفت مشاهده شد که در سرعت‌های دورانی بالا روتور توربین داریوس از روتور توربین ساوینیوس رها می‌شود، که این امر باعث افزایش راندمان توربین خواهد شد. همچنین دیده می شود که روتور ساوینیوس در بالا و پایین روتور داریوس قرار گرفته است.



شکل ۶: توربین هیبریدی با ترکیب روتور ساونیوس و داریوس.

۵- جمع‌بندی

وابستگی حدودی تأمین انرژی به سوخت‌های فسیلی و محدودیت این منابع انرژی از جمله عوامل اصلی در جایگزینی منابع انرژی های تجدیدپذیر برای سوخت‌های فسیلی بوده‌است. یکی از این منابع، انرژی باد است. بشر با استفاده از توربین‌های بادی، این انرژی را به انرژی مصرفی مورد نیاز تبدیل کرده است. از سویی، مناطق شهری به عنوان یکی از مراکز اصلی تقاضای انرژی و دارای آلودگی‌های ناشی از استفاده سوخت‌های فسیلی نیازمند استفاده از انرژی بادی است. سیال باد موجود در این مناطق دارای ویژگی‌هایی مانند آشفتگی جریان بالا و تغییر جهت بالا را دارد.

در بین دو نوع توربین های بادی محور افقی و توربین های بادی محور عمودی، توربین های بادی محور عمودی مزایایی دارد که باعث شده در دهه‌های گذشته تحقیق‌های بسیاری روی این توربین‌ها برای بهره‌گیری از انرژی باد در مناطق شهری صورت گیرد. این توربین قابلیت دریافت باد از هر جهتی را دارد و باعث می شود نیاز به سیستم کنترلی یاو از بین برود. از سویی با توجه به طراحی ساده‌تر این نوع از توربین‌ها، هزینه ساخت و تعمیر و نگه‌داری آن‌ها کاهش می‌یابد. بنابراین این نوع از توربین‌ها مناسب برای مناطق شهری هستند.

www.SID.ir

Archive of SID

با هیبرید کردن دو نوع توربین بادی محور عمودی ساوینیوس و داریوس می‌توان توربینی با ضریب توان بالا و سرعت راه‌اندازی پایین داشت. به منظور حذف تأثیر منفی توربین ساونیوس در سرعت‌های دورانی بالا، می‌توان از یک کلاچ مکانیکی و الکتریکی استفاده کرد. همچنین با جایگذاری روتور ساوینیوس در بالا و پایین روتور داریوس می‌توان از عمل‌کرد بهتر این روتورها بهره برد. با این کار می‌توان ضریب توان توربین هیبریدی را مقداری افزایش داد. بنابراین با استفاده از توربین بادی محور عمودی هیبریدی با ترکیب بین دو توربین ساونیوس و داریوس با اضافه کردن کلاچ مکانیکی از انرژی باد در مناطق شهری به نحو مقتضی می‌توان استفاده کرد.

مراجع

[1] B. K. Sahu, "Wind energy developments and policies in China: A short review," ***Renew. Sustain. energy Rev.***, vol. 81, pp. 1393–1405, 2018.

[2] R. REN21, "Global Status Report, REN21 Secretariat, Paris, France," in ***Tech. Rep.***, 2017.

[3] R. L. Arantegui and A. Jäger-Waldau, "Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris Agreement," ***Renew. Sustain. Energy Rev.***, vol. 81, pp. 2460–2471, 2018.

[4] T. Sundqvist and P. Soderholm, "Valuing the environmental impacts of electricity generation: a critical survey.," ***J. Energy Lit.***, vol. 8, no. March, pp. 3–41, 2002.

[5] A. Tummala, R. K. Velamati, D. K. Sinha, V. Indraja, and V. H. Krishna, "A review on small scale wind turbines," ***Renew. Sustain. Energy Rev.***, vol. 56, pp. 1351–1371, 2016.

[6] F. Atash, "The deterioration of urban environments in developing countries: Mitigating the air pollution crisis in Tehran, Iran," ***cities***, vol. 24, no. 6, pp. 399–409, 2007.

[7] S. Mertens, "Wind energy in the built environment: concentrator effects of buildings," 2006.

[8] G. v. K. C. S. Ferreira, G. v. Bussel, F. Scarano, "Visualization by PIV of dynamic stall on a vertical axis wind turbine," pp. 97–108, 2009.

[9] R. Gupta, R. Das, and K. K. Sharma, "Experimental study of a Savonius-Darrieus wind machine," in ***Proceedings of the International Conference on Renewable Energy for Developing Countries, University of Columbia, Washington DC***, 2006.

[10] J. Beurskens and P. H. Jensen, "Economics of wind energy: Prospects and directions," ***Renew. Energy World***, vol. 4, no. 4, pp. 102–121, 2001.

[11] S. Gehlot, "Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) : Energy for Future!!," 2018.

[12] T. F. Ishugah, Y. Li, R. Z. Wang, and J. K. Kiplagat, "Advances in wind energy resource exploitation in urban environment: A review," ***Renew. Sustain. energy Rev.***, vol. 37, pp. 613–626, 2014.

[13] L. Ledo, P. B. Kosasih, and P. Cooper, "Roof mounting site analysis for micro-wind turbines," ***Renew. Energy***, vol. 36, no. 5, pp. 1379–1391, 2011.

[14] K. Syngellakis and H. Traylor, "Urban Wind Resource Assessment in the UK, An introduction to wind resource assessment in the urban environment," ***Chineham Eur. Comm. Intell. Energy Eur. Agency***, 2007.

[15] S. Mertens, "The energy yield of roof mounted wind turbines," ***Wind Eng.***, vol. 27, no. 6, pp. 507–518, 2003.

[16] K. C. Anup, J. Whale, and T. Urmee, "Urban wind conditions and small wind turbines in the built environment: A review," ***Renew. Energy***, 2018.

[17] W. Musial and B. Ram, "Large-scale offshore wind power in the United States: Assessment of opportunities and barriers," National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States), 2010.

[18] Z. Hameed, Y. S. Hong, Y. M. Cho, S. H. Ahn, and C. K. Song, "Condition monitoring and fault detection of wind turbines and related algorithms: A review," ***Renew. Sustain. energy Rev.***, vol. 13, no. 1, pp. 1–39, 2009.

[19] A. Grant, C. Johnstone, and N. Kelly, "Urban wind energy conversion: The potential of ducted turbines," ***Renew. Energy***, vol. 33, no. 6, pp. 1157–1163, 2008.

[20] W. W. E. Association, "Small wind world report." Bonn, Germany, 2016.

[21] A. D. Peacock, D. Jenkins, M. Ahadzi, A. Berry, and S. Turan, "Micro wind turbines in the UK domestic sector," ***Energy Build.***, vol. 40, no. 7, pp. 1324–1333, 2008.

[22] D. Dodman, "Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories," ***Environ. Urban.***, vol. 21, no. 1, pp. 185–201, 2009.

[23] H. Snel, "Review of aerodynamics for wind turbines," ***Wind Energy An Int. J. Prog. Appl. Wind Power Convers. Technol.***, vol. 6, no. 3, pp. 203–211, 2003.

[24] C. Sicot, P. Devinant, S. Loyer, and J. Hureau, "Rotation and turbulence effects on a HAWT blade airfoil aerodynamics," in ***Wind Energy***, Springer, 2007, pp. 221–226.

[25] S. E. Ã, H. Bernhoff, and M. Leijon, "Evaluation of different turbine concepts for wind power," vol. 12, pp. 1419–1434, 2008.

[26] S. Armstrong, A. Fiedler, and S. Tullis, "Flow separation on a high Reynolds number , high solidity vertical axis wind turbine with straight and canted blades and canted blades with fences," ***Renew. Energy***, vol. 41, pp. 13–22, 2012.

[27] T. Maeda, Y. Kamada, J. Murata, Q. A. Li, T. Kawabata, and T. Kogaki, "Measurements of flow field and pressure distribution of straight-bladed vertical axis wind turbine," in ***Proceedings of the European Wind Energy Association Conference and Exhibition***, 2013, p. 8.

[28] M. F. Ismail and K. Vijayaraghavan, "The effects of aerofoil profile modification on a vertical axis wind turbine performance," ***Energy***, vol. 80, pp. 20–31, 2015.

[29] R. Howell, N. Qin, J. Edwards, and N. Durrani, "Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine," ***Renew. energy***, vol. 35, no. 2, pp. 412–422, 2010.

[30] H. J. Sutherland, D. E. Berg, and T. D. Ashwill, "A Retrospective of VAWT Technology," ***Security***, no. January, pp. 1–64, 2012.

[31] M. S. Siddiqui, N. Durrani, and I. Akhtar, "Quantification of the effects of geometric approximations on the performance of a vertical axis wind turbine," ***Renew. Energy***, vol. 74, pp. 661–670, 2015.

[32] W. T. Chong, A. Fazlizan, S. C. Poh, K. C. Pan, W. P. Hew, and F. B. Hsiao, "The design, simulation and testing of an urban vertical axis wind turbine with the omni-direction-guide-vane," ***Appl. Energy***, vol. 112, pp. 601–609, 2013.

[33] J. C. C. Henriques, F. M. Da Silva, A. I. Estanqueiro, and L. M. C. Gato, "Design of a new urban wind turbine airfoil using a pressure-load inverse method," ***Renew. Energy***, vol. 34, no. 12, pp. 2728–2734, 2009.

[34] D. W. Wekesa, C. Wang, Y. Wei, J. N. Kamau, and L. A. M. Danao, "A numerical analysis of unsteady inflow

www.SID.ir

Archive of SID

wind for site specific vertical axis wind turbine: A case study for Marsabit and Garissa in Kenya," ***Renew. Energy***, vol. 76, pp. 648–661, 2015.

[35] I. Argatov and V. Shafranov, "Economic assessment of small-scale kite wind generators," ***Renew. Energy***, vol. 89, pp. 125–134, 2016.

[36] R. Ã. Gupta, A. Biswas, and K. K. Sharma, "Comparative study of a three-bucket Savonius rotor with a combined three-bucket Savonius – three-bladed Darrieus rotor," vol. 33, pp. 1974–1981, 2008.

[37] S. P. Patil, A. R. Deshpande, and K. R. Jagtap, "Comparative Study of Different Types of Wind Turbine and an Overview of Some Issues Related with Wind Energy," pp. 47–51.

[38] M. A. Kamoji, S. B. Kedare, and S. V Prabhu, "Performance tests on helical Savonius rotors," ***Renew. Energy***, vol. 34, no. 3, pp. 521–529, 2009.

[39] J. Vicente, H. Antonio, and A. Prisco, "A review on the performance of Savonius wind turbines," ***Renew. Sustain. Energy Rev.***, vol. 16, no. 5, pp. 3054–3064, 2012.

[40] P. Rathod, K. Khatik, K. Shah, H. Desai, and J. Shah, "A Review on Combined Vertical Axis Wind Turbine," ***Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Tecnol.***, vol. 5, no. 4, pp. 5748–5754, 2016.

[41] Y. Kyozuka, "An Experimental Study on the Darrieus-Savonius Turbine for the Tidal Current Power Generation *," vol. 3, no. 3, pp. 439–449, 2008.

www.SID.ir