

طراحی و ساخت توربین بادی عمود محور برای شارژ باتری در ایستگاه‌های آتش نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک

مسعود بیات زاده^۱، سید اسماعیل آقایی^۲، فرزاد مقدمی فر^۳، حسن شمس^۴

۱- کارشناسی ارشد مهندسی برق، کارمند سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک، ایران

۲- کارشناس تربیت بدنی، کارمند سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک، ایران

۳- کارشناس مهندسی برق، کارمند سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی امداد و نجات، کارمند سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک، ایران

Masoud.bayatzahe66@gmail.com

چکیده

امروزه با افزایش مصرف انرژی و محدودیت منابع فسیلی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی بادی به‌عنوان راهکاری مؤثر و سازگار با محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش، طراحی و ساخت توربین بادی عمود محور برای کاربرد شارژ باتری در ایستگاه‌های آتش‌نشانی انجام شده است. این سیستم با هدف تأمین انرژی مورد نیاز برای شارژ مداوم باتری تجهیزات ارتباطی و دستگاه‌های بی‌سیم در شرایط اضطراری طراحی گردیده است. توربین طراحی شده از نوع عمود محور با پره‌های کامپوزیت و ایرفویل NACA 0010 می‌باشد که قابلیت بهره‌برداری از باد در تمام جهات را داراست. فرآیند طراحی با استفاده از نرم‌افزارهای QBlade و SolidWorks انجام شده و ساخت قطعات با استفاده از چاپگر سه‌بعدی صورت گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این توربین با توان متوسط ۲۷۰ وات در سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه، قابلیت شارژ باتری‌های ۱۲ ولتی مورد استفاده در ایستگاه‌های آتش‌نشانی را داراست و می‌تواند به‌عنوان منبع انرژی پشتیبان در شرایط اضطراری مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: توربین بادی عمود محور، انرژی تجدیدپذیر، ایستگاه آتش‌نشانی، سیستم انرژی پشتیبان

۱- مقدمه

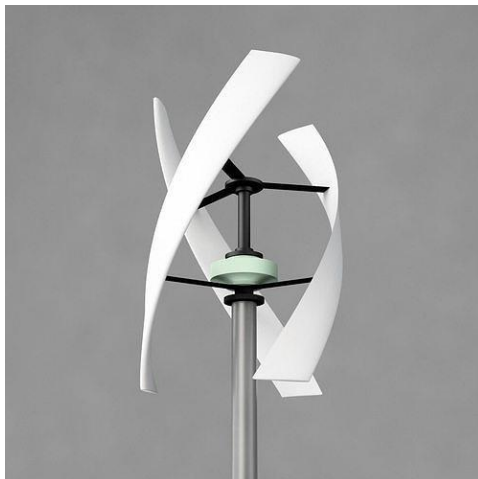
با رشد روزافزون مصرف انرژی و افزایش آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی، ضرورت تولید انرژی الکتریکی با استفاده از روش‌های نوین و پاک بیش از پیش احساس می‌شود. انرژی بادی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر، به‌دلیل راندمان بالا و استهلاک پایین در تبدیل به انرژی الکتریکی، گزینه‌ای مقرون‌به‌صرفه محسوب می‌شود [۱].

ایستگاه‌های آتش‌نشانی به‌عنوان مراکز حیاتی امداد رسانی، همواره نیازمند تجهیزات ارتباطی و دستگاه‌های بی‌سیم با شارژ مداوم هستند. در شرایط اضطراری و بحرانی، قطع برق می‌تواند عملکرد این مراکز را با اختلال مواجه سازد. از این‌رو، طراحی سیستمی مستقل برای تأمین انرژی مورد نیاز جهت شارژ باتری این تجهیزات، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱].

توربین‌های بادی عمود محور* (VAWT) به دلیل مزایای متعدد از جمله عدم حساسیت به جهت وزش باد، عدم نیاز به پایه مرتفع، قابلیت نصب در فضاهای محدود و استهلاک کمتر، گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای شهری و اضطراری محسوب می‌شوند. در این پژوهش، طراحی و ساخت یک توربین بادی عمود محور برای کاربرد شارژ باتری در ایستگاه‌های آتش‌نشانی مورد بررسی قرار گرفته است [۲].

۱-۱- توربین بادی با محور عمودی

در توربین‌های بادی با محور عمودی 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. توربین‌های بادی با محور عمودی به شکل‌های مختلفی ساخته می‌شوند که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. دو نوع عمده آنها، توربین‌های داریوس و ساوینوس هستند [۳].



شکل ۱: توربین‌های بادی با محور عمودی.

۲- مروری بر پژوهش‌های پیشین

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه استفاده از توربین‌های بادی عمود محور برای شارژ باتری انجام شده است. در طراحی و توسعه یک توربین بادی عمود محور کوچک برای شارژ باتری‌های لیتیم یون ۱۲ ولتی پرداخته شده است که نشان‌دهنده قابلیت این سیستم‌ها در تأمین انرژی پاک و قابل حمل می‌باشد [۴].

در پژوهش دیگری، محققان به طراحی توربین بادی عمود محور برای شارژ باتری خودروهای الکتریکی پرداخته‌اند که در آن از توربین عمود محور ساوینوس[†] با ژنراتور مغناطیس دائم برای تولید انرژی الکتریکی استفاده شده است. این سیستم قابلیت تولید توان تا ۲۰۰ وات را داراست و برای کاربردهای شارژ باتری در شرایط مختلف مناسب می‌باشد [۵].

* Vertical Axis Wind Turbine

† Savonius

همچنین، تحقیقات نشان داده است که توربین‌های عمود محور ساوینوس با ساختار ساده، استارت‌آپ خوب، نویز کم و استهلاک کاهش یافته، گزینه‌های مناسبی برای تولید انرژی در مقیاس کوچک و کاربردهای شارژ باتری هستند [۶]. در مطالعه یک توربین ساوونوس با ژنراتور الکتریکی مدل‌سازی و آزمایش شده است که نتایج آن نشان‌دهنده عملکرد قابل قبول این سیستم در تولید توان الکتریکی می‌باشد [۷].

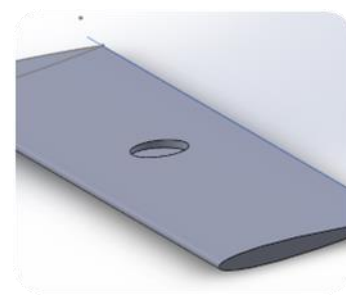
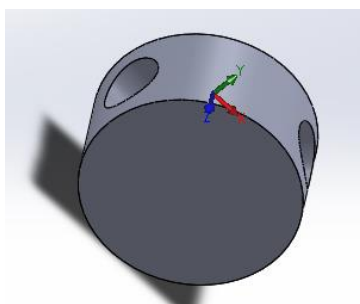
پژوهش‌های میدانی نیز نشان داده است که ترکیب توربین‌های بادی ساوینوس با پنل‌های خورشیدی می‌تواند سیستم مؤثری برای تأمین انرژی در مناطق ساحلی و شرایط مختلف آب‌وهوایی ایجاد نماید. این رویکرد هیبریدی می‌تواند راهکاری مناسب برای تأمین انرژی مداوم در ایستگاه‌های آتش‌نشانی باشد [۸].

۳- روش‌شناسی پژوهش

۳-۱- طراحی توربین

طراحی اولیه توربین با استفاده از نرم‌افزار QBlade انجام شده است. این نرم‌افزار قابلیت شبیه‌سازی عملکرد ایرفویل‌ها و محاسبه ضرایب آیرودینامیکی را داراست. ایرفویل انتخاب شده از نوع NACA 0010 با طول ۲۵ سانتی‌متر می‌باشد. انتخاب این ایرفویل به دلیل عملکرد مناسب در سرعت‌های پایین باد و قابلیت تولید توان مطلوب صورت گرفته است.

پس از اطمینان از عملکرد آیرودینامیکی مناسب، طراحی سه‌بعدی قطعات با استفاده از نرم‌افزار SolidWorks انجام شد. قطعات طراحی شده شامل ایرفویل‌ها، شفت‌های اتصال‌دهنده، و پایه نگهدارنده ژنراتور می‌باشند که در شکل ۲ نشان داده شده اند و مشخصات قطعات در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.



شکل ۲: طراحی قطعات توربین‌های بادی با محور عمودی.

جدول ۱: مشخصات ایرفویل‌ها

مقدار	مشخصه
NACA 0010	نوع ایرفویل
۳ عدد	تعداد پره
۲۵ سانتی‌متر	طول هر پره
کامپوزیت	جنس

جدول ۲: مشخصات شفت‌ها و پایه نگهدارنده

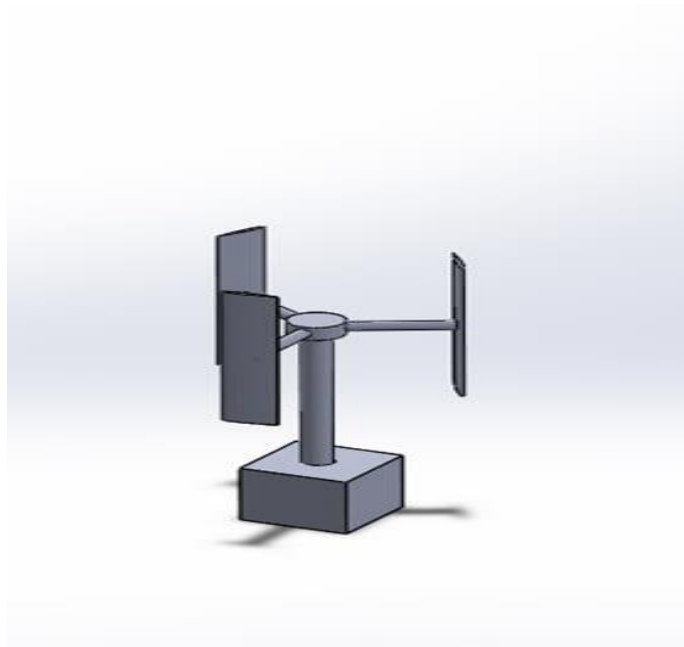
قطر	طول	قطعه
۱.۵ سانتی‌متر	۱۰ سانتی‌متر	شفت اتصال‌دهنده
۲.۷ سانتی‌متر	۲۷.۵ سانتی‌متر	شفت اصلی
داخلی ۲.۵، خارجی ۵ سانتی‌متر	ارتفاع ۲.۵ سانتی‌متر	پایه نگهدارنده ژنراتور

۲-۳- شبیه‌سازی عملکرد

شبیه‌سازی عملکرد توربین در محیط Simulink نرم‌افزار MATLAB انجام شده است. در این شبیه‌سازی، عملکرد توربین در سرعت‌های مختلف باد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده توان متوسط ۲۷۰ وات در سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه است که برای کاربرد شارژ باتری مناسب می‌باشد. نمودار ضرایب لیفت (CL) و درگ (CD) در زوایای حمله مختلف در چرخش ۲۵ درجه و همچنین در محدوده ۱۸۰- تا ۱۸۰ درجه، عملکرد آیرودینامیکی مناسب پره‌ها را تأیید نمود.

۳-۳- ساخت قطعات

پس از تأیید طراحی، تمامی قطعات با فرمت STL ذخیره شده و با استفاده از چاپگر سه‌بعدی و ماده اولیه فیلامنت ساخته شدند. استفاده از چاپگر سه‌بعدی امکان ساخت دقیق قطعات با هندسه پیچیده را فراهم نمود و هزینه ساخت را کاهش داد.



شکل ۳: توربین بادی عمود محور بعد از مونتاژ.

۴- سیستم ژنراتور و کنترل شارژ

۴-۱- مشخصات ژنراتور

ژنراتور مورد استفاده از نوع سه‌فاز بدون جاروبک با توان ۱۲ وات می‌باشد. مشخصات این ژنراتور در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: مشخصات ژنراتور

مقدار	مشخصه
۲۸.۵ × ۱۰ میلی‌متر	قطر موتور
۳۰ × ۳۰ میلی‌متر	صفحه ثابت
۳۱.۵ × ۳ میلی‌متر	اندازه شافت
۳ تا ۲۴ ولت	ولتاژ خروجی
۰.۱ × ۱ آمپر	جریان خروجی
۱۲ × ۰.۵ وات	توان

خروجی ولتاژ این ژنراتور به‌صورت AC می‌باشد و برای استفاده در مدارات DC نیاز به یکسوسازی دارد که در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: ژنراتور کوچک سه فاز با قدرت ۱۲ وات.

۲-۴- سیستم کنترل شارژ

برای جلوگیری از شارژ بیش از حد باتری و افزایش طول عمر آن، استفاده از کنترلر شارژ ضروری است. کنترلر شارژ با تنظیم جریان و ولتاژ ورودی به باتری، از آسیب به باتری جلوگیری می‌نماید. مشخصات کنترلر شارژ مناسب برای این سیستم در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴: مشخصات کنترلر شارژ

مقدار	مشخصه
DC ولت ۲۴/۱۲	ولتاژ اسمی باتری
۲۰ آمپر	حداکثر جریان شارژ
سه مرحله‌ای (حجیم، جذبی، شناور)	روش تنظیم شارژ
نمایشگر عددی با نور پس‌زمینه	نمایشگر

۵- کاربرد در ایستگاه‌های آتش‌نشانی

سیستم طراحی شده می‌تواند به عنوان منبع انرژی پشتیبان در ایستگاه‌های آتش‌نشانی مورد استفاده قرار گیرد. این سیستم با قابلیت نصب بر روی پشت‌بام ساختمان و بهره‌گیری از انرژی باد در تمام جهات، می‌تواند به طور مداوم باتری تجهیزات ارتباطی و دستگاه‌های بی‌سیم را شارژ نماید.

تجهیزات حیاتی در ایستگاه‌های آتش‌نشانی که نیازمند شارژ مداوم هستند عبارتند از:

- دستگاه‌های ارتباطی بی‌سیم
- سیستم‌های هشدار و اعلام حریق



- تجهیزات روشنایی اضطراری
- سیستم‌های نظارت تصویری

با توجه به اهمیت عملکرد بی‌وقفه این تجهیزات در شرایط اضطراری، سیستم طراحی شده می‌تواند به‌عنوان یک منبع انرژی مستقل و قابل‌اعتماد عمل نماید. همچنین، در صورت قطع برق شهری، این سیستم می‌تواند تأمین انرژی مورد نیاز را به‌مدت طولانی بر عهده گیرد.



شکل ۵: شکل نهایی توربین بادی عمود محور.



۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، طراحی و ساخت یک توربین بادی محور عمودی (VAWT) با هدف شارژ باتری در ایستگاه‌های آتش‌نشانی و مراکز خدمات ایمنی شهرداری اراک مورد بررسی و اجرا قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که این سامانه با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد توربین‌های محور عمودی از جمله استقلال نسبی از جهت باد، عملکرد مناسب در سرعت‌های پایین تا متوسط باد، صدای کم و امکان نصب در محیط‌های شهری و فضاهای محدودگزینه‌ای کارآمد و عملی برای تأمین بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز تجهیزات حیاتی ایستگاه‌ها محسوب می‌شود.

به‌کارگیری این توربین در کنار سیستم ذخیره‌سازی باتری، امکان افزایش قابلیت اطمینان برق‌رسانی به تجهیزات اضطراری، کاهش وابستگی به شبکه سراسری برق و بهبود آمادگی عملیاتی در شرایط قطعی برق یا حوادث را فراهم می‌سازد. همچنین، استفاده از انرژی تجدیدپذیر باد در مقیاس کوچک، علاوه بر کاهش هزینه‌های انرژی، گامی مؤثر در جهت کاهش آلاینده‌ها و تحقق اهداف توسعه پایدار در سطح شهرداری اراک به‌شمار می‌آید.

یافته‌های این مطالعه تأیید می‌کند که طراحی مناسب پره‌ها، انتخاب ژنراتور متناسب و بهینه‌سازی سیستم کنترل شارژ، می‌تواند بازدهی قابل قبولی را حتی در شرایط بادهای محلی اراک به همراه داشته باشد. با این حال، برای ارتقای عملکرد و گسترش کاربرد، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، بررسی دقیق‌تر داده‌های باد منطقه‌ای، بهینه‌سازی آیرودینامیکی پره‌ها، یکپارچه‌سازی با سامانه‌های خورشیدی هیبریدی و ارزیابی اقتصادی بلندمدت مورد توجه قرار گیرد.

در مجموع، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده پتانسیل بالای توربین‌های بادی محور عمودی به‌عنوان راهکاری کم‌هزینه، سازگار با محیط شهری و قابل اعتماد برای افزایش تاب‌آوری ایستگاه‌های آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهرداری اراک است و می‌تواند الگویی عملی برای سایر شهرهای مشابه باشد.

پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، عملکرد سیستم در شرایط واقعی آب‌وهوایی مورد ارزیابی قرار گیرد و امکان ترکیب این سیستم با پنل‌های خورشیدی به‌عنوان یک سیستم هیبریدی بررسی شود. همچنین، طراحی سیستم‌های مقیاس‌پذیر با توان بیشتر برای تأمین انرژی کل ایستگاه‌های آتش‌نشانی می‌تواند موضوع پژوهش‌های آینده باشد.



مراجع

1. Eastern Wind Power, "Mobile Turbine Unit," 2024. [Online]. Available: <https://easternwindpower.us/mobile-turbine/>
2. S. Wang, E. Tonge, I. Sekanyo, E. Portmann, and S. M. Azzouz, "On the State-of-the-Art of Solar, Wind, and Other Green Energy Resources and Their Respective Storage Systems," *Eng*, vol. 4, no. 1, pp. 857-883, 2023.
3. Leading Edge Power, "LE-v150 Vertical Axis Wind Turbine," 2024. [Online]. Available: <https://www.leadingedgepower.com/le-v150>
4. C. Siankombwe, "Design and Development of a Mini Vertical Axis Wind Turbine for Battery Charging Applications using a 12V Lithium-ion Battery," *International Journal For Multidisciplinary Research*, vol. 7, no. 1, 2025.
5. H. H. Kulde, "Vertical axis wind turbine powered electricity generating system for charging electric automobile batteries," US Patent US20100001531, 2010.
6. M. A. Mijan, "Blade design of vertical axis wind turbine for golf car battery charger," Master Thesis, Universiti Teknologi MARA (UiTM), 2011.
7. Y. K. Yadav et al., "A Savonius Wind Turbine with Electric Generator: Model and Test," *CORE*, 2020.
8. R. Ashari, H. Saputro, and H. Bugis, "Studi Eksperimental Performansi Turbin Savonius dengan Penambahan Panel Surya 100 WP Polycrystalline di Pesisir Pantai Kabupaten Demak terhadap Daya Listrik yang Dihasilkan," *Jurnal NOZEL*, 2021.