

معرفی توربین بادی ساوونیوس

صادق احمدی
دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک
دانشگاه تهران
sadeghahmadi66@yahoo.com

غیاث‌الدین رحیمی*
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
دانشگاه محقق اردبیلی
ghro.rahimi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۵

چکیده

با توجه به کاهش منابع انرژی فسیلی و بالابودن هزینه‌های آن طی دهه‌های اخیر، توجه به یافتن جایگزینی برای منابع فسیلی افزایش چشمگیری داشته است. انرژی باد از جمله منابع تجدیدپذیر مورد توجه برای تولید انرژی است. برای بهره‌گیری از انرژی باد توربین‌هایی استفاده می‌شوند که بالاتر از سطح زمین نصب شده، انرژی جریان باد را به انرژی دورانی و سپس انرژی الکتریکی مبدل می‌کنند. توربین‌های متداول مورد استفاده دارای محوری افقی‌اند که پرها حول آن دوران می‌یابند. نوع دیگر این توربین‌ها محوری عمودی دارند که طی سالیان اخیر مطالعات متعددی برای کاربرد آنها انجام شده است. معروف‌ترین توربین‌های محور عمودی ساوونیوس و داریوس نام دارند. در این مقاله به معرفی توربین‌های بادی ساوونیوس پرداخته شده است. این توربین‌ها مزایای متعددی در نوع افقی دارند و اگر بتوانند توان تولیدی مناسبی به دست دهند جایگزین مناسبی برای نوع محور افقی خواهند بود. در این مقاله به معرفی توربین ساوونیوس و مطالعات انجام‌شده درباره آنها به‌منظور افزایش بازده پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: انرژی‌های تجدیدپذیر، توربین بادی، محور عمودی، ساوونیوس

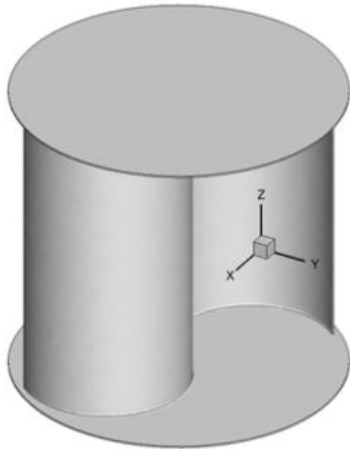
۱. مقدمه

امروزه یکی از چالشی‌ترین موضوعات پیش‌روی بشر کاهش منابع انرژی فسیلی و یافتن جایگزینی مناسب برای آن است. همچنین آلودگی محیط زیست و گرم‌شدن کره زمین توجهات بیشتری را به سمت منابع تجدیدپذیر انرژی جلب کرده است. با توجه به مسائل اقتصادی و مباحث مربوط به امنیت انرژی تنوع‌بخشی به منابع انرژی و پایداری آن اهمیت ویژه‌ای یافته است. با نگاهی به مصرف سوخت و انرژی در دنیا متوجه می‌شویم که روند مخربی

برای منابع انرژی جهان در حال پیشروی است. بنابراین می‌توان بیش از پیش، نیاز مبرم به استفاده از منابع انرژی جایگزین و تجدیدپذیر را درک کرد [۱]. در این بین انرژی بادی با توجه به دسترسی و پاک‌بودن آن از دهه‌های قبل مورد استفاده قرار گرفته است؛ اما در سالیان اخیر تلاش برای تولید برق از این منبع تجدیدپذیر رشد شتابانی داشته است. توربین‌های بادی مورد استفاده از انواع و طراحی‌های گوناگونی برخوردارند، اما عملاً توربین‌های بادی محور افقی



ضرورت دارد که مقدار کارایی توربین ساوونیوس با پارامتر ضریب توان سنجیده می‌شود که به قرار زیر است.



شکل ۱. توربین با محور عمودی ساوونیوس

$$c_p = \frac{P}{P_{available}} \quad (1)$$

به طوری که در این رابطه P توان جذب شده توسط توربین است و برابر با ضرب گشتاور در سرعت دورانی پره‌ها می‌باشد.

$$P = M\omega \quad (2)$$

حداکثر توان باد نیز برابر است با:

$$P_{available} = \frac{1}{2} A \rho V_0^3 \quad (3)$$

به طوری که V_0 سرعت باد در فاصله دور از توربین و ρ چگالی آن است. به این ترتیب با جایگذاری روابط ۱ و ۲ در رابطه ۳ داریم:

$$c_p = \frac{P}{P_{available}} = \frac{M\omega}{0.5 A \rho V_0^3} \quad (4)$$

$$c_p = \frac{M}{0.5 A \rho V_0^3} \frac{r\omega}{r v_0} = \lambda C_M$$

در رابطه ۴ نیز C_M ضریب گشتاور و λ نسبت سرعت خطی مماسی نوک پره‌های توربین به سرعت باد است. با افزایش ضریب توان کارایی این نوع توربین نیز افزایش می‌یابد. در ادامه به بررسی تأثیر پارامترهای مؤثر از نظر شکل ظاهری پرداخته می‌شود.

به صورت کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرند. طی سالیان اخیر، انواع دیگری از توربین‌های بادی مورد توجه قرار گرفته‌اند که محور عمودی دارند و دو نوع اصلی آنها شامل توربین‌های با محور عمودی به نام ساوونیوس^۱ و داریوس^۲ است.

از میان مهمترین مزایای توربین‌های بادی محور عمودی به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

۱. عدم حساسیت به جهت وزش باد و آشفته‌گی آن. این نکته در مناطقی که جهت وزش باد متغیر است، یک امتیاز به‌شمار می‌رود.

۲. توربین بادی محور عمودی می‌تواند در فاصله‌ای نزدیکتر به زمین نصب شود؛ جعبه‌دنده و ژنراتور در نزدیکی زمین قرار می‌گیرد 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.

۳. چون در این نوع توربین‌ها، نوک پره‌ها به محور دوران نزدیکتر است، سروصدای کمتری نسبت به توربین محور افقی تولید می‌کنند و حجم و اندازه کمتر آنها، برخوردهای محیطی را نیز کاهش می‌دهد.

در ادامه به معرفی توربین بادی محور عمودی ساوونیوس و پرداخته می‌شود.

۲. توربین بادی ساوونیوس

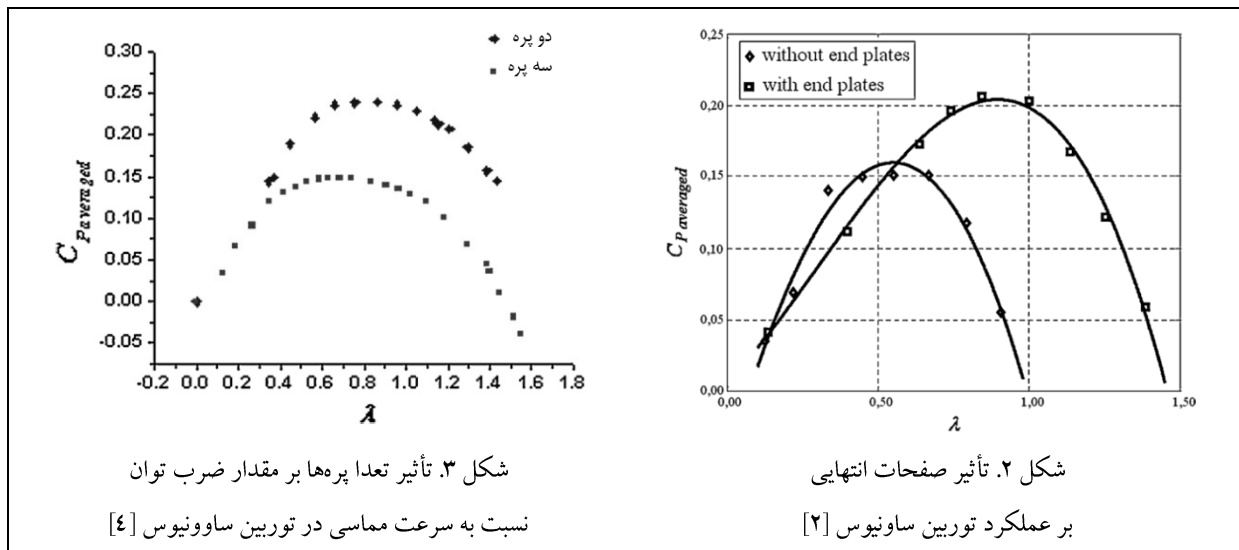
در شکل ۱ نمونه‌ای ساده از این توربین ساوونیوس نمایش داده شده است.

در سالیان اخیر، برای بهبود کارایی این نوع توربین پژوهش‌هایی صورت گرفته است تا پارامترهای بهینه برای افزایش بازده آن به دست آید. این پارامترها شامل نسبت ارتفاع به قطر، وجود صفحات انتهایی، تعداد پره‌ها، شکل پره‌ها و طبقات روتور توربین می‌باشد که در ادامه بیشتر توضیح داده می‌شوند، اما قبل از آن توجه به این نکته

۲-۱. صفحات انتهایی و نسبت ابعاد^۳

از مهمترین این پارامترها، استفاده از دو صفحه در دو انتهای توربین است. با افزودن این دو صفحه، که به شکل دایره‌ای در دو انتها قرار می‌گیرند، بازده توربین ساوونیوس به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. در توربین شکل ۱ این صفحات مشخص‌اند. در شکل ۲ تأثیر وجود این صفحات بر مقدار C_p به‌خوبی مشخص شده است که نشانگر تأثیر قابل ملاحظه استفاده از صفحات انتهایی

است. این صفحات مانع از فرار باد از سطح مقعر توربین می‌شوند و افزایش بازده را به‌دنبال دارند. بنا به گزارش [۳] مقدار بهینه برای قطر این صفحات حدوداً ۱/۱ برابر قطر روتور است. مقدار بی‌بعد نسبت ابعاد، که برابر نسبت ارتفاع به قطر است، نیز پارامتر تأثیرگذار دیگری است که همانند استفاده از صفحات انتهایی تأثیر قابل توجهی بر افزایش بازدهی این توربین‌ها دارد. مقدار بهینه برای این نسبت ارتفاع به قطر روتور حدوداً برابر ۲ است [۳].



۲-۲. تعداد و شکل انحنای پره‌ها

در توربین‌های ساوونیوس برلی تعداد پره‌های بهینه و همین‌طور تعداد طبقات این توربین‌ها مطالعاتی صورت گرفته است. به‌طور متداول از دو یا سه پره برای توربین ساوونیوس استفاده می‌شود که نتایج تحقیقات انجام‌شده نشان‌دهنده کارایی بیشتر در هنگام استفاده از دو پره است. بلکول و همکاران [۴] در تحقیقی، که به‌صورت تجربی و با استفاده از تونل باد انجام شد، به بررسی تعداد پره‌ها پرداختند. نتایج کار آنها نیز نشان داد که استفاده از دو پره بازدهی بیشتری را برای توربین ساوونیوس در پی دارد. نتایج کار آنان در شکل ۳ آمده است. همچنین برای بررسی تأثیر شکل پره‌ها نیز مطالعاتی صورت پذیرفته است. ساده‌ترین

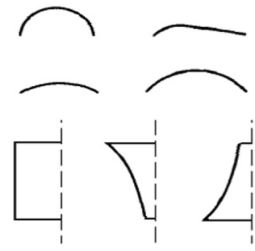
نوع پره‌ها به شکل نیم‌دایره هستند. اما ایجاد تغییراتی در نوع پره‌ها می‌تواند مقدار ضریب توان را بهبود بخشد. کاموجی و همکاران [۵] در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که وجود ناحیه‌ای قلاب‌مانند در انتهای پره می‌تواند سبب افزایش ضریب توان از مقدار ۰/۱۹ به ۰/۲۱ شود. ساها و همکاران [۶] نیز در پژوهشی با در نظر گرفتن پره‌های پیچ‌داده‌شده^۴ به مقدار ۰/۳۱ در مقابل ۰/۲۹، که برای توربین‌های ساوونیوسی با پره‌هایی به شکل نیم‌دایره، دست یافتند. همان‌طور که قبلاً گفته شد، انواع مختلفی از توربین‌های بادی وجود دارند که در شکل‌های ۴ تا ۶ چند نمونه از پره‌های مورد استفاده نمایش داده شده‌اند.



شکل ۶. توربین با پره‌های مارپیچی



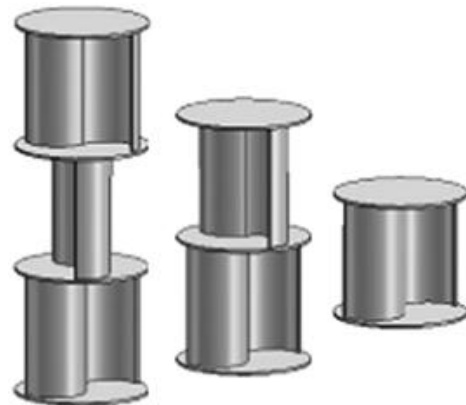
شکل ۵. توربین با پره پیچ‌خورده



شکل ۴. پروفیل و شکل برخی از پره‌ها

۲-۳. تعداد طبقات توربین

توربین‌های بادی ساوونیوس با تعداد دو و سه پره طبقه نیز در مطالعاتی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در شکل ۷ توربین‌های ساوونیوس یک، دو و سه‌طبقه نمایش داده شده است.



شکل ۷. توربین‌های بادی یک، دو و سه‌طبقه

در یکی از این تحقیقات، هایاشی و همکاران [۷] توربینی یک‌طبقه و سه‌طبقه را باهم مقایسه کردند که نتایج آن در شکل ۸ نمایش داده شده است. همانگونه که این نمودار مشاهده می‌شود یک توربین سه‌طبقه می‌تواند تا حدی افزایش بازده داشته باشد.

۳. اثر عدد رینولدز و آشفتگی جریان باد

اثر عدد رینولدز بر عملکرد توربین ساوونیوس در شکل ۹ نمایش داده شده است. براساس نتایج حاصل از کار بلکول و همکاران [۴] افزایش عدد رینولدز بر پدیده جدایش از روی پره‌های روتور تأثیر می‌گذارد. افزایش در مقدار عدد

رینولدز جدایش از روی سطح پره‌ها را در سمت مقعر به تأخیر می‌اندازد که این اثر بیشتر در زوایای نزدیک به صفر و ۱۸۰ درجه دیده می‌شود. با به تأخیرافتادن جدایش مقدار درگ فشاری در سمت پره در حال برگشت کاهش می‌یابد و مقاومت در برابر حرکت را می‌کاهد. در شکل ۱۰ تأثیر مقدار عدد رینولدز و سرعت جریان باد بر ضریب گشتاور آمده است.

پارامتر دیگری که می‌تواند بر عملکرد توربین ساوونیوس تأثیرگذار باشد، شدت آشفتگی جریان است که با افزایش آشفتگی مقدار ضریب توان کاهش می‌یابد. این روند در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.

۴. مقایسه با سایر توربین‌ها

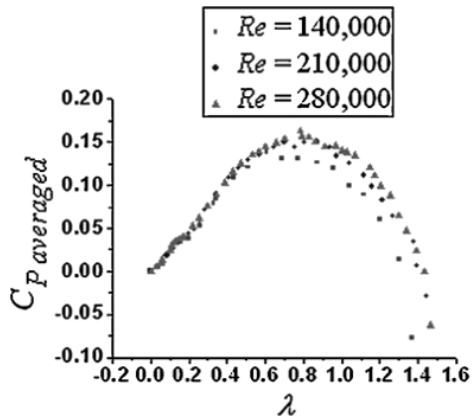
برای درک بهتر عملکرد توربین‌های ساوونیوس دو نمودار شکل ۱۲ و ۱۳ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، توربین ساوونیوس می‌تواند در مقدار λ کم مورد استفاده قرار گیرد، حال آنکه توربین‌های بادی سه‌پره متداول در مقادیر بسیار بیشتری کاربرد دارند.

۵. جمع‌بندی

با توجه به گوناگونی پیکربندی توربین‌های ساوونیوس، ضرورت تلاش بیشتر برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و بررسی شرایط گوناگونی که می‌توان از این توربین استفاده کرد وجود دارد. همچنین این تفاوت در ساختار توربین ساوونیوس می‌تواند مزیتی برای آن باشد که با توجه به شرایط استفاده و شکل مناسب آن مورد استفاده قرار گیرد.

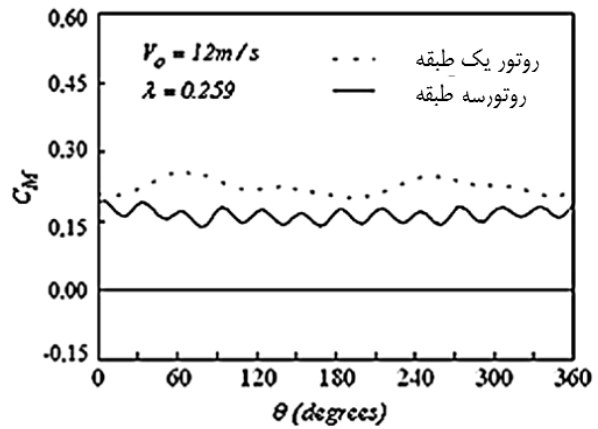


جریان. با مطالعات بیشتر روی این نوع توربین در آینده‌ای نزدیک می‌توان شاهد استفاده‌های کاربردی آن بود.

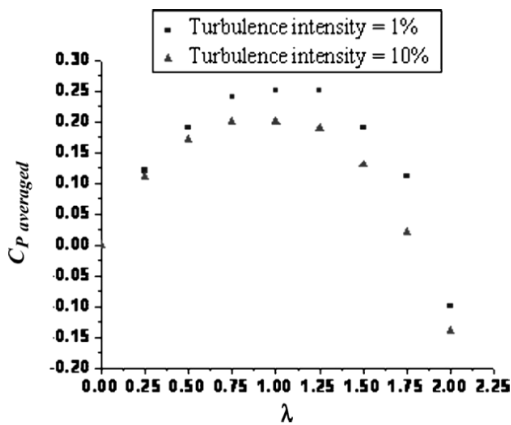


شکل ۹. اثر عدد رینولدز بر عملکرد توربین ساوونیوس [۸]

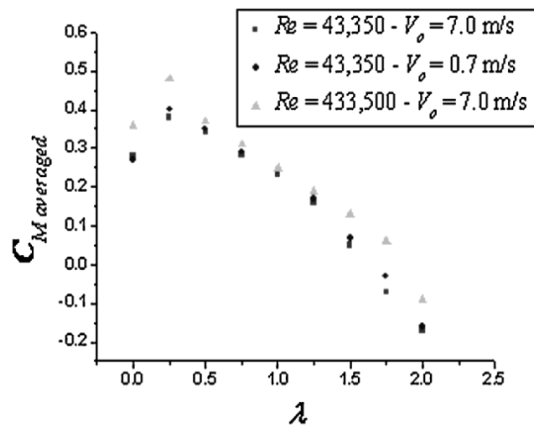
اساساً برای بررسی توربین ساوونیوس دو مشخصه باید مورد توجه قرار گیرد: پارامترهای هندسی و پارامترهای



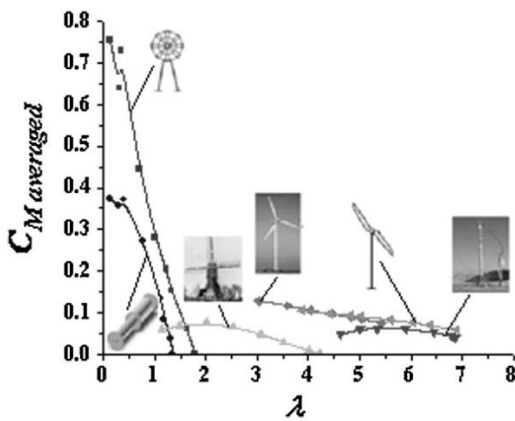
شکل ۸. نتایج پژوهش [۶]



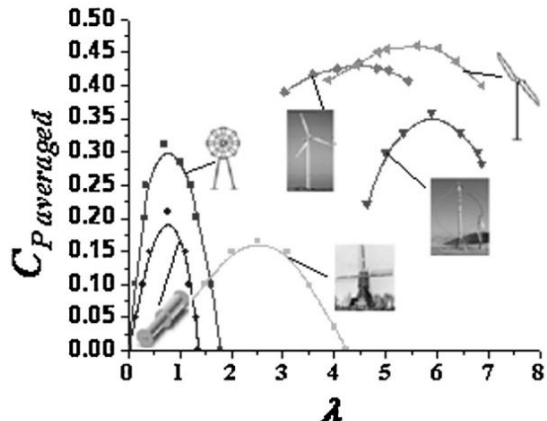
شکل ۱۱. اثر آشفتگی بر C_p [۸]



شکل ۱۰. تأثیر عدد رینولدز و سرعت باد بر ضریب گشتاور [۸]



شکل ۱۳. نمودار ضریب گشتاور بر حسب λ [۹]



شکل ۱۲. نمودار ضریب توان بر حسب λ [۹]



- [1] Misra, R., V. Bansal, G. Das, J. Mathur, T. Aseri. "Thermal performance investigation of hybrid earth air tunnel heat exchanger." *Energy and Buildings*, Vol. 49, 2012, pp. 531-535.
- [2] Akwa, J. V., H. A. Vielmo, A. P. Petry. "A review on the performance of savonius wind turbines." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012), pp. 3054–3064.
- [3] Ushiyama, I., H. Nagai. "Optimum design configurations and performance of Savonius rotors." *Wind Eng* 1988, 12, pp. 59-75.
- [4] Blackwell, B. F., R. E. Sheldahl, L. V. Feltz. "Wind tunnel performance data for two- and three-bucket Savonius rotors." Sandia Laboratories, USA, Sand Under act AT/29-11, 1978. p.789-10131.
- [5] Kamoji, M. A., S. B. Kedare, S. V. Prabhu. "Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor." *Appl Energy* 2008, 86 pp. 1064–1073.
- [6] Saha, U.K., S. ThotlaS, D. Maity. "Optimum design configuration of Savonius Rotor through wind tunnel experiments." *J Wind Eng Ind Aerod* 2008, 96, pp. 1359–75.
- [7] Hayashi, T., Y. Li, Y. Hara. "Wind tunnel tests on a different phase three-stage Savonius rotor." *JSME Int J Ser B: Fluids Therm Eng* 2005, p.916.
- [8] Akwa, J. V. "Savonius wind turbine aerodynamics analysis using computational fluid dynamics." MSc dissertation, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 2010.
- [9] Eldridge, F. R. *Wind machines*, 2nd ed. New York, USA, Van Nostrand Reinhold Company, 1980.

پی نوشت

-
1. savonius
 2. darrieus
 3. Aspect ratio
 4. twisted bucket

