

## طراحی مزرعه توربین بادی محور عمودی: اثر تنظیم و چیدمان نسبی روتور بر عملکرد آیرودینامیکی آرایه‌های روتور دوتایی

### چکیده

اثر تنظیم و چیدمان نسبی روتور بر عملکرد توان مجزا و کلی توربین بادی محور عمودی<sup>1</sup> (VAWT) با دو روتور و همچنین آرایه‌های آیرودینامیک آن مورد بررسی قرار گرفته است. هشت نوع تنظیم روتور در نظر گرفته شده است: دو جهت دوران نسبی (دوران هم جهت CO، دوران در خلاف جهت CN)، دو جای‌گیری نسبی (توربین پایین‌دست ناهمسوی باد توربین بالا دست قرار گرفته است LW، و در دیگری همسوی باد توربین بالادست قرار گرفته است WW) و دو حالت تأخیر فاز ( $\Delta\theta = 0^\circ, 180^\circ$ ). برای هر کدام از این هشت تنظیم روتور، 63 چیدمان نسبی مختلف در نظر گرفته شده است که 504 مورد خاص را نتیجه داده است. چیدمان در بازه  $1.25d \leq R \leq 10d$  (قطر روتور =  $d$ ) و  $0^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$  قرار دارد که  $R$  و  $\phi$  به ترتیب برابر با فاصله نسبی و زاویه روتورها هستند. شبیه‌سازی CFD ناوراستوکس رینولدز متوسط ناپایا<sup>2</sup> (URANS) که با داده‌های تجربی اعتبارسنجی گردیده است، به کار گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد عملکرد توان آرایه، به‌طور چشمگیری تحت اثر جهت دوران نسبی و جای‌گیری قرار می‌گیرد؛ به‌طوری که تقریباً 8٪ تغییر در ضریب توان ( $C_p$ ) ایجاد می‌نماید، در حالی که به مقدار اندکی به تأخیر فاز وابسته است. عملکرد متفاوت آرایه‌های مورد مطالعه قرار گرفته، به دلیل آن است که بخش‌های مختلف چرخش توربین پایین‌دست متأثر از ویک<sup>3</sup> توربین قرار گرفته در بالادست و ناهمگونی مقاومت/عرض لایه برشی ایجاد شده در بخش همپوشانی دو روتور است. جهت دوران ترجیح داده شده برای آرایه‌های WW، هم جهت است؛ گرچه برای آرایه‌های LW، خلاف جهت مطلوب‌تر است. در چیدمان یکسان، توربین‌های دوران کننده در خلاف جهت و جای‌گیری نسبی LW، بالاترین  $C_p$  را دارند زیرا پره توربین پایین‌دست آن‌ها در امتداد جهت جریان در ناحیه همپوشانی ویک حرکت می‌کند که منجر به زوال اندک انرژی و لایه برشی کوچک ویک می‌شود. در مقابل، آرایه‌های دوران کننده در خلاف جهت با جای‌گیری نسبی WW کمترین  $C_p$  را داشته، که به این خاطر است که پره توربین پایین‌دست در خلاف جریان در ناحیه همپوشانی ویک حرکت می‌کند که باعث کم شدن شدید سرعت و ایجاد یک لایه برشی قوی و ضخیم می‌شود.

<sup>1</sup> Vertical Axis Wind Turbine

<sup>2</sup> Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes

<sup>3</sup> Wake

**کلیدواژه‌ها:** انرژی بادی، طراحی آرایش مزرعه بادی، کنترل مزرعه بادی، VAWT، انرژی نو و تجدیدپذیر، دینامیک سیال محاسباتی (CFD).

### نتیجه‌گیری

از انجام این کار تحقیقاتی نتایج زیر به دست آمده است:

- در آرایه‌های دوران کننده در خلاف جهت (CN)، جای‌گیری نسبی همسوی باد (WW) منجر به عملکرد توان مجزا و کلی کاهش یافته توربین‌ها می‌شود. در حالی که جای‌گیری نسبی خلاف جهت باد (LW)، افزایش را نتیجه می‌دهد؛ که به دلیل کاهش چشمگیر سرعت در سمت همسوی باد توربین بالادست است.
- در آرایه‌های دوران کننده در جهت یکسان (CO)، عملکرد توان مجزا و کلی توربین‌ها، به مقدار اندکی وابسته به جای‌گیری نسبی آن‌ها است.
- اثر جای‌گیری نسبی بر عملکرد توان مجزا و کلی توربین‌ها در آرایه‌های دوران کننده در خلاف جهت (CN)، در زوایای نسبی  $\phi < 45^\circ$  و فواصل نسبی  $R > 1.75d$  (d = قطر روتور) از بین می‌رود.
- عملکرد توان مجزا و کلی توربین‌های محور عمودی، به مقدار اندکی به تأخیر فاز وابسته است ( $\Delta\theta$ ).
- در بازه‌های زاویه و فاصله نسبی  $0^\circ < \phi \leq 30^\circ$  و  $R < 2.25d$ ، جهت دوران نسبی اثری قابل توجه بر عملکرد توان مجزا و کلی توربین‌ها دارد که منجر به تغییر آن تا حدود 8.3٪ می‌گردد. خارج از این بازه، اثر جهت دوران نسبی به کمتر از 2٪ محدود می‌گردد.

از تحلیل آیرودینامیکی پره و ویک توربین، نتایج زیر حاصل گردید:

- دلیل اصلی تفاوت در عملکرد توان آرایه‌های مطالعه شده این است که بخش‌های مختلف توربین پایین-دست تحت اثر ویک توربین بالادست قرار می‌گیرد. برای تمامی روتورها، به ترتیب ربع‌های رو به باد<sup>۱</sup>، پشت به باد<sup>۲</sup>، ناهمسوی باد<sup>۳</sup> و همسوی باد<sup>۴</sup> بیشترین سهم را در تولید توان دارند. بالاتر بودن عملکرد

<sup>1</sup> Upwind

<sup>2</sup> Downwind

<sup>3</sup> Leeward

<sup>4</sup> Windward

توان توربین پایین دست به دلیل آرایه همگرا یا همان دوران در خلاف جهت و جای گیری نسبی ناهمسوی باد (CN-LW) در ربعی است که کمترین سهم را دارد، که همان ربع همسوی باد می باشد.

- برای آرایه واگرا یا همان دوران در خلاف جهت و جای گیری نسبی همسوی باد (CN-WW)، پره توربین پایین دست خلاف جریان در ناحیه همپوشانی و یک حرکت می کند. این موضوع منجر به کاهش شدید سرعت و زوال انرژی و در نتیجه آن، عملکرد پایین تر توان می شود. در مقابل در موارد همگرا (CN-LW)، پره توربین پایین دست در امتداد جریان در ناحیه همپوشانی و یک حرکت کرده که خود منجر به کاهش کمتر سرعت و تقریباً بدون لایه برشی می شود و در نتیجه توان بالاتر حاصل می گردد.
- در آرایه ها با جای گیری نسبی ناهمسوی باد (LW)، روتور پایین دست از عبور یک ناحیه آشفته با انرژی جنبشی افزایش یافته، بهره می برد که از سمت ناهمسوی باد توربین بالادست ایجاد می شود، که متناظر با حرکت رو به پایین پره است. این موضوع در افزایش عملکرد توان آرایه های LW سهیم است.
- آرایه های واگرا (CN-LW) و همگرا (CN-WW) به ترتیب کمترین و بیشترین کاهش سرعت را در انتهای ویک دارند. در نتیجه می توان این آرایه ها را به ترتیب به عنوان بهترین و نامناسب ترین انتخاب برای اضافه کردن روتور به پایین دست در نظر گرفت.

## Reference

Sahebzadeh S., Rezaeiha A., Montazeri H., "Vertical-axis wind-turbine farm design: Impact of rotor setting and relative arrangement on aerodynamic performance of double rotor arrays", Energy Reports 8 (2022) 5793-5819.

DOI: 10.1016/j.egy.2022.04.030

مترجم: یاسمن باغبان