

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

# ارایه یک رهیافت جدید برای تعیین استراتژی کنترلی سیستم یا توربین های بادی مگاواتی

محمد چمنی، بهرام تاران، عباس الهی، حمیدرضا لاری، عباس بحری

مرکز توسعه فناوری توربین های بادی مگاواتی

پژوهشگاه نیرو

تهران، ایران

میتوان گفت که با افزایش زاویه باد نسبت به توربین، بارهای وارده به توربین افزایش می‌یابد [۲].

سیستم‌های یا به دو دسته کلی غیرفعال<sup>۱</sup> و فعال<sup>۲</sup> تقسیم می‌شود. در سیستم یا غیرفعال، جهت توربین با تغییر جهت باد به صورت خودکار تغییر می‌کند. این کار توسط یک دنباله‌چه که در انتهای ناسل قرار دارد صورت می‌پذیرد. به عبارتی کنترلی روی تغییرات زاویه یا توربین بادی وجود ندارد. در حال حاضر تنها برای توربین‌های کوچک از این روش استفاده می‌شود زیرا در صورتی که تغییرات جهت باد زیاد و سریع باشد، گشتاور ژيروسکوپی بسیار بالایی به توربین وارد می‌شود که برای توربین خطرناک است. در نوع فعال سیستم یا، دوران مجموعه ناسل و روتور به صورت کنترل شده و توسط موتورهای الکتریکی (یا هیدرولیکی) روی یاتاقان یا انجام می‌پذیرد. در این حالت میتوان سرعت و زمان انجام حرکت یا را کنترل کرد. برای توربین‌های بزرگ نیز با استفاده از یک گیربکس کاهنده، سرعت دوران سیستم یا بسیار کاهش می‌یابد تا گشتاور ژيروسکوپی حداقل شود.

تغییرات جهت باد در بازه‌های زمانی کوتاه مدت بسیار زیاد می‌باشد و در صورتی که باد توبولانس بوزد این تغییرات بسیار چشم گیر است. اگر توربین بادی بخواهد همیشه در راستای باد قرار بگیرد، لازم است که سیستم یا به صورت دائمی فعال باشد. با توجه به محدودیت موجود در زمینه عمر موتورهای الکتریکی، گیربکس و یاتاقان یا توربین بادی، امکان دوران همیشگی ناسل وجود ندارد. مضاف بر اینکه در زوایای خطای یا کم، اتلاف توان (و افزایش بارهای وارده به اجزاء) بسیار کم بوده و انجام دوران‌های

چکیده — ماهیت وجود سیستم یا توربین بادی به منظور همراستا نمودن محور دوران روتور با جهت وزش باد می‌باشد و طبیعت متغیر باد لزوم دوران پیوسته ناسل برای دنبال کردن جهت باد را ایجاب می‌کند. با این حال نبایستی این دوران به طور همیشگی و یا برای مدت زمان طولانی باشد. به همین جهت بایستی یک استراتژی کنترلی برای سیستم یا تعریف کرد. این استراتژی باید بتواند بین حداکثر توان ورودی از روتور و کمترین میزان دوران سیستم یا تعادل برقرار کند. در این مقاله با توجه به شرایط بارگذاری و نیز الزامات مورد نظر در توربین های بادی مگاواتی، یک استراتژی کلی برای دوران یا توربین بادی طراحی می‌شود.

واژه‌های کلیدی — توربین بادی مگاواتی؛ سیستم یا؛ خطای یا؛ مدلسازی سیمولینک

## ۱. مقدمه

توربین‌های بادی بایستی دارای سیستمی باشند که بتواند توربین را در جهت باد قرار دهد. قرار دادن توربین در راستای باد از دو جنبه اهمیت فراوانی دارد: ۱- افزایش توان دریافتی از باد ۲- کاهش بارهای وارده به اجزای توربین بادی. توان استحصال از توربین با توان سوم خطای یا [۱] ارتباط دارد و با افزایش زاویه خطای یا توان دریافتی کاهش می‌یابد. روند تغییرات بارهای وارده به توربین بر حسب خطای یا منظم نبوده و وابسته به حالت باری و نیز میزان خطای یا می‌باشد. اما به عنوان یک قاعده کلی

<sup>1</sup> Passive

<sup>2</sup> Active

لازم به ذکر است که در این سرعت توربین توانی را تولید نکرده و خاموش می‌باشد.

هر یک ثانیه (P3) جهت باد توسط بادنما تعیین می‌شود. سپس هر ۱۰ ثانیه یکبار (زمان میانگین‌گیری) (P4) این داده‌ها میانگین‌گیری می‌شود. در صورتی که میزان خطای یا که در این ۱۰ ثانیه حاصل می‌شود، بیشتر از حداقل مقدار خطای یا<sup>۳</sup> (P5) شود ( $\varphi_{\text{threshold}} = 7^\circ$ ) در نظر گرفته شده (است) آنگاه یکی از چهار حالت زیر اتفاق خواهد افتاد:

۱- در صورتی که خطای یا مقدار کمی باشد (در بازه ۷ تا ۱۵ درجه) (P6)، آنگاه برای مدت زمان ۶۰ ثانیه (P7) صبر کرده (زمان انتظار ۱) و در این بازه داده‌های باد جمع‌آوری شده و میانگین‌گیری می‌شود و در صورتی که پس از این مدت زمان، باز هم خطای یا بیشتر از  $\varphi_{\text{threshold}}$  بود، آنگاه به میزان خطای یا در ۱۰ ثانیه آخر زمان انتظار، توربین یا خواهد کرد.

۲- در صورتی که خطای یا مقدار متوسطی داشته باشد (بازه ۱۵ تا ۲۵ درجه) (P8)، آنگاه برای مدت زمان ۲۰ ثانیه (P9) صبر کرده (زمان انتظار ۲) و در این بازه داده‌های باد جمع‌آوری شده و میانگین‌گیری می‌شود و در صورتی که پس از این مدت زمان خطای یا بیشتر از  $\varphi_{\text{threshold}}$  بود، آنگاه به میزان خطای یا در ۱۰ ثانیه آخر زمان انتظار، توربین یا خواهد کرد.

۳- در صورتی که خطای یا مقدار زیادی داشته باشد (۲۵ تا ۳۵ درجه) (P10) همان لحظه سیستم یا فعال شده و توربین یا می‌کند.

۴- در صورتی که خطای یا بالاتر از مقدار بحرانی ( $\varphi_{\text{critical}}$ ) (P11) باشد، آنگاه توربین بادی باید خاموش شده و تا زمانی که خطای یا به مقدار کمتر از مقدار بحرانی (حداقل ۱۰ درجه کمتر از مقدار بحرانی) نرسد، توربین یا نکرده و روشن نمی‌شود.

در شکل ۱ استراتژی در نظر گرفته شده برای توربین بادی مگاواتی نمایش داده شده است. با توجه به شرایط بادی در نظر گرفته شده و توانایی بسیار زیاد سیستم ترمزی یا، توربین امکان تحمل بادهای بالاتر از  $V = 34 \text{ m/sec}$  را دارد. به همین جهت حداکثر سرعتی که سیستم یا میتواند در آن فعال باشد برابر با  $V = 42 \text{ m/sec}$  قرار داده می‌شود.

پیای چه به لحاظ عملکرد مکانیکی برای اجزاء سیستم یا و چه به لحاظ اقتصادی به صرفه نمی‌باشد.

در اهمیت این بحث باید به این موضوع نیز اشاره کرد در صورتی که یاتاقان یا دچار خرابی شود باید ناسل و روتور از توربین باز شده (پایین بیابند) و پس از تعویض یاتاقان یا دوباره در بالای برج قرار داده شوند که بسیار پرهزینه و زمان‌بر خواهد بود.

با توجه به مباحث مطرح شده تضادی بین حداکثر توان دریافتی از توربین بادی و حداقل بار وارده به اجزاء، با حداکثر عمر اجزای سیستم یا ایجاد می‌شود. در نتیجه بایستی یک استراتژی برای کنترل دوران سیستم یا در نظر گرفت که بتواند تعادلی بین این سه عامل ایجاد کند. برای این منظور ابتدا استراتژی کنترلی در نظر گرفته شده برای یک توربین بادی مگاواتی ارائه شده و سپس روش یافتن پارامترهای مربوطه شرح داده می‌شود. در انتها نیز با استفاده از نرم افزار Simulink اثر بعضی از پارامترهای کنترلی بر زمان فعال بودن سیستم یا و توان استخراجی از توربین بررسی می‌شود.

## ۲. استراتژی کنترلی

استراتژی کنترلی که در ادامه آمده است با توجه به استراتژی کنترلی توربین‌های بزرگ [۱] و [۳] و هم چنین بارهای وارده به سیستم یا (شدت و مدت زمان اعمال بارها) تدوین شده است. البته سعی شده است که تا حد ممکن سیستم کنترلی ساده باشد و منطبق بر تجهیزات استفاده شده برای ثبت داده‌های باد باشد.

شروع به کار سیستم یا در سرعت  $V = 3 \text{ m/sec}$  (P1) است. این مقدار برابر با  $V_{in}$  (سرعت شروع به کار توربین بادی) قرار داده شده است.

حداکثر سرعتی که سیستم یا می‌تواند فعال باشد، صرفاً از روی نیروی وارده به اجزا تعیین می‌شود. برای سرعت‌های بالاتر از این مقدار دو استراتژی می‌تواند مد نظر قرار گیرد. این دو استراتژی عبارتست از:

- ۱- در صورتی که سرعت باد از  $0.8 V_{ref}$  که در اینجا  $V = 34 \text{ m/sec}$  (P2) است فراتر رود، ترمز موتورها غیر فعال شده و توربین اجازه پیدا می‌کند که تحت اثر گشتاور وارده از سوی باد دوران کرده تا زمانی که توربین پشت به باد شود (سیستم یا توربین حالت غیرفعال داشته باشد).
- ۲- سیستم یا فعال بوده و ترمزهای سیستم یا بتوانند بر گشتاور باد غلبه کنند (سیستم یا توربین حالت فعال داشته باشد). در این صورت  $V_{ref}$  به عنوان سرعت نهایی انتخاب می‌شود.

<sup>3</sup>  $\varphi_{\text{threshold}}$

بار (مانند FAST یا Bladed) به دست می‌آید. استراتژی مربوط به فعال یا غیر فعال بودن سیستم یا در سرعتهای بالا نیز با توجه به حالتی که سیستم ترمز برای آن طراحی شده و مقایسه آن با حالتی که سرعت باد بالاتر از پارامتر  $P2$  می‌شود، به دست می‌آید. البته همان طور که در بخش قبلی نیز بدان اشاره شد، این پارامتر برابر با سرعت  $42 \text{ m/sec}$  قرار داده شده است.

پارامتر  $P3$ : این پارامتر جزو مشخصات بادنما می‌باشد. بادنماهای موجود فرکانس داده برداری  $1-4\text{Hz}$  دارند.

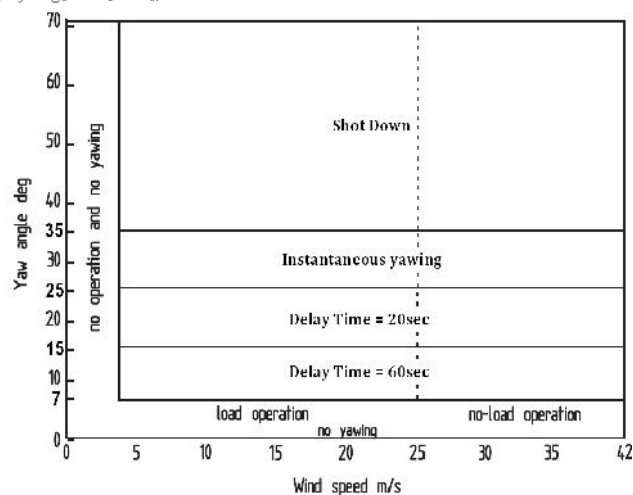
پارامتر  $P4$ : عوامل (۱) و (۳) در تعیین این پارامتر تاثیرگذار هستند. این پارامتر از طریق نرم افزار Simulink به دست می‌آید.

پارامتر  $P5$  تا  $P9$ : عوامل (۱)، (۲) و (۳) در تعیین این پارامتر تاثیرگذار هستند. این پارامتر از طریق نرم افزار Simulink به دست می‌آید.

پارامتر  $P10$  و  $P11$ : تنها عامل (۲) در تعیین این پارامتر تاثیرگذار است زیرا در این سرعت توربین خاموش است. این پارامتر از طریق نرم افزار FAST به دست می‌آید.

برای تعیین پارامترهای بالا ابتدا از طریق نرم افزار FAST پارامترهای  $P2$ ،  $P10$  و  $P11$  به دست می‌آیند و سپس از طریق نرم افزار Simulink پارامترهای دیگر محاسبه می‌شوند. برای تعیین بهترین حالت می‌توان از روش سعی و خطا استفاده کرده و یا از روش‌های بهینه سازی دیگر مانند الگوریتم ژنتیک یا شبکه عصبی استفاده کرد. البته باید توجه داشت که بین عامل‌های ذکر شده برای بهینه سازی این پارامترها، حداقل کردن زمان حرکت سیستم یا، نسبت به حداکثر کردن توان استحصالی از توربین ارجحیت دارد.

در استاندارد GL تنها خواسته شده است که خطای یا  $-8$ ،  $0$  و  $+8$  درجه بررسی شوند. اما یکی از نکات مهم در زمینه خطای یا این است که (برای نمونه) هنگامی که خطای یا در باد توربولانس  $24 \text{ m/s}$  برابر  $-8$  درجه است، به صورت لحظه‌ای خطای یا بین  $31 < \varphi < -34$  تغییر می‌کند. در نتیجه در این حالات توربین خطاهای یا بالاتر از  $8$  درجه را نیز احساس می‌کند. اما باید توجه کرد که الزامی ندارد هنگامی که خطای یا زیاد است، گشتاور  $Mz$  زیاد باشد زیرا در باد توربولانس، جهت عمودی باد، سرعت افقی و عمودی نیز تغییر می‌کنند. هم چنین باید توجه کرد که در صورتی که میانگین  $10$  ثانیه‌ای جهت افقی باد (خطای یا) را در نظر بگیریم، در بازه



شکل ۱: استراتژی در نظر گرفته شده برای کنترل دروان یا

### ۳. طریقه یافتن پارامترهای $P1$ تا $P11$

به طور کلی چهار عامل زیر تعیین کننده پارامترهای  $P1$  تا  $P11$  می‌باشند:

- ۱- توان استحصالی از توربین بادی
- ۲- نیروی وارده به اجزاء
- ۳- حداقل کردن حرکت سیستم یا (طبق استاندارد GL [۴] سیستم یا در  $10\%$  اوقات فعال است)
- ۴- شرایط مزرعه بادی مورد نظر

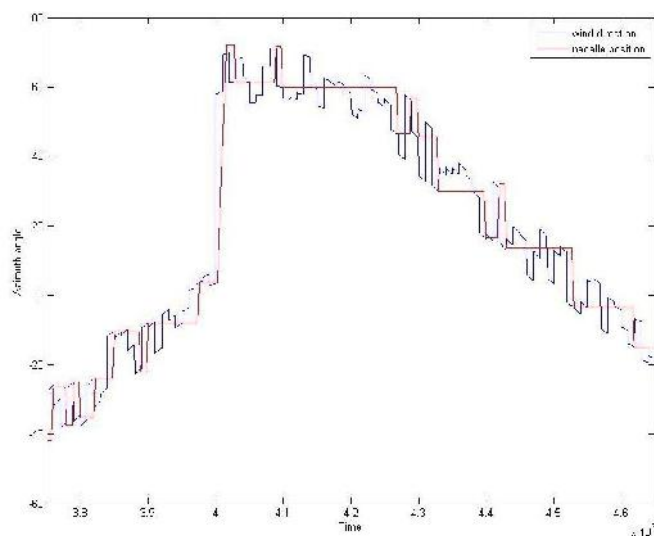
شرایط مزرعه بادی مهمترین عامل بوده و بایستی پس از طراحی اولیه سیستم کنترل، تمامی پارامترها برای مزرعه بادی مورد نظر کالیبره شوند. البته لازم به ذکر است که برای کالیبره کردن کنترلر با مزرعه احتیاج به داده‌های دقیق باد است. در حالت کلی، داده‌های باد در مزرعه‌های بادی برای بازه‌های زمانی  $10$  دقیقه‌ای است که برای کالیبره کردن کنترلر مناسب نمی‌باشد. در ادامه مبنای انتخاب مقادیر پارامترهای  $P1$  تا  $P11$  آورده می‌شود.

پارامتر  $P1$ : عامل (۱) بیشترین نقش را در تعیین این پارامتر دارد. برای شروع به کار سیستم احتیاج است که توربین از حالت پارک (خطای یا  $90$  درجه) به حالت آغاز به کار برود. برای این کار احتیاج است که توربین حرکت یا انجام دهد. به همین منظور حداکثر مقدار برای پارامتر  $P1$  سرعت آغاز به کار توربین بادی است.

پارامتر  $P2$ : تنها عامل (۲) در تعیین این پارامتر تاثیر گذار است زیرا در این سرعت توربین خاموش است. این پارامتر از طریق نرم افزارهای محاسبات

جدول ۱: پارامترهای اولیه استفاده شده برای کنترل دوران یا

P1	سرعت شروع به کار سیستم یا	۳ m/sec
P2	حداکثر سرعت باد برای فعال بودن یا	۴۲ m/sec
P3	فرکانس خواندن جهت باد توسط باد	هر یک ثانیه
P4	زمان میانگین گیری	۱۰ ثانیه
P5	حداقل خطای یا	۷ درجه
P6	بازه خطای یا کم	۱۰ درجه
P7	زمان انتظار ۱	۶۰ ثانیه (۶ برابر P4)
P8	بازه خطای یا متوسط	۲۰ درجه
P9	زمان انتظار ۲	۲۰ ثانیه (۲ برابر P4)
P10	بازه خطای یا زیاد	۳۵ درجه
P11	خطای یا بحرانی	۴۰ درجه



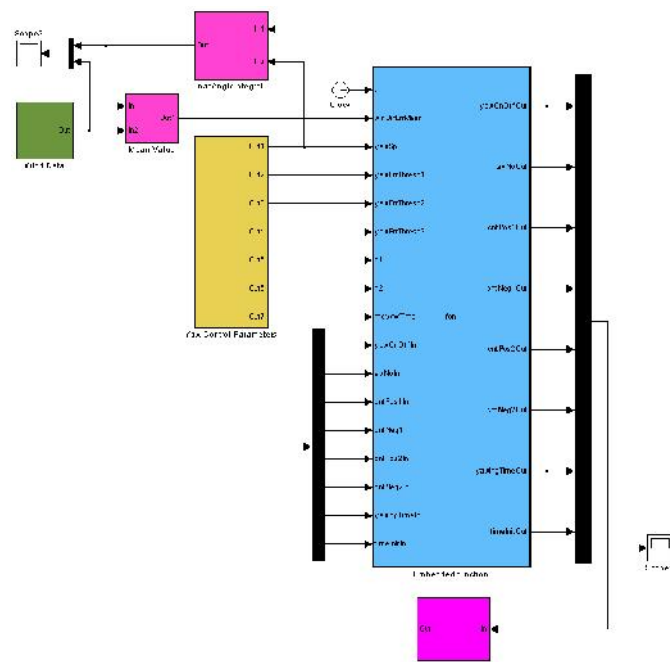
شکل ۳: روند دنبال کردن جهت ناسل با جهت باد برای استراتژی نوشته شده

با فرضیات ذکر شده در جدول ۱ و باد فرضی اعمالی، این توربین در مجموع یک بازه زمانی ۱۰۰۰۰ ثانیه‌ای، در ۷/۴ درصد اوقات سیستم یا فعال می‌باشد و در این مدت زمان تنها ۲/۵٪ از توان اتلاف می‌شود. با توجه به اینکه نبایستی زمان فعال بودن سیستم یا بیشتر از ۱۰٪ شود، استراتژی نوشته شده را می‌توان به راحتی تغییر داده و زمانهای متوسط گیری یا انتظار را افزایش داد. اما کاهش این زمان‌ها میتواند سبب افزایش درصد فعال بودن سیستم یا شود. در ادامه این پارامترها بررسی می‌شود.

$12.5 < \varphi < -13.2$  قرار می‌گیرد (خطای یا باید ۸- درجه باشد در نتیجه خطای واقعی  $4.5 < \varphi < -21.2$  می‌باشد).

#### ۴. مدلسازی سیمولینک کنترل یا

در شکل ۲ مدل Simulink مربوط به کنترل یا آورده شده است. در باکس wind data باد ورودی داده می‌شود و در باکس Yaw Control Parameter ورودی‌های مربوط به پارامترهای مورد نیاز برای کنترل یا آورده می‌شود.



شکل ۲: مدل سیمولینک کنترل دوران سیستم یا

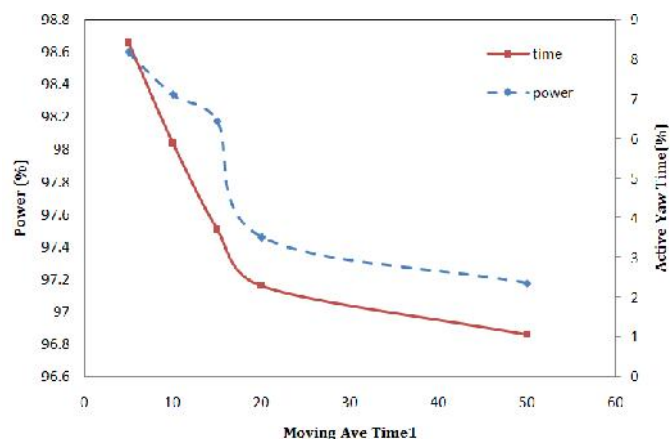
لازم به ذکر است که توان استحصالی از توربین با توان سوم خطای یا ارتباط دارد به عبارتی

$$P \propto \cos^3 \varphi \quad (1)$$

سرعت دوران یا توربین های مگاواتی در محدوده ۰/۴ تا ۰/۶ درجه بر ثانیه است. در ادامه فرض می‌شود که سرعت دوران یا توربین بادی ثابت و برابر با ۰/۵ درجه بر ثانیه است. در جدول ۱ پارامترهای اولیه مورد استفاده در برنامه نوشته شده برای استراتژی کنترلی یا و در شکل ۳ موقعیت ناسل با توجه به جهت باد برای یک بازه زمانی ۸۰۰ ثانیه‌ای آورده شده است.

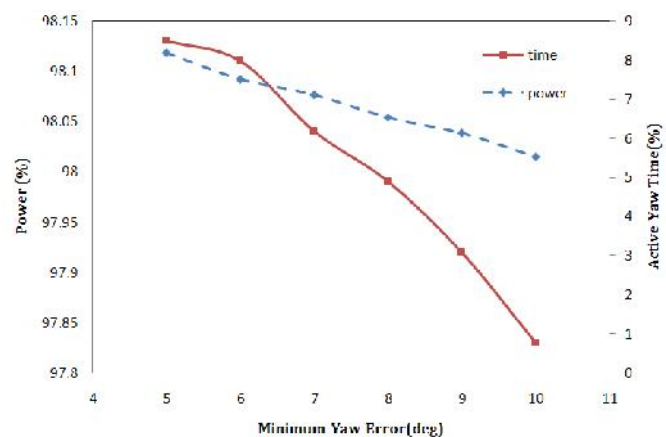
### ۵. بررسی تاثیر پارامترهای کنترلی

در بین پارامترهای مذکور، پارامترهای P4 تا P9 جزو پارامترهایی کنترلی هستند که بایستی آنها را به گونه‌ای تغییر داد که کمترین نیرو و بالاترین توان را ایجاد کند. در ادامه دو پارامتر P4 و P5 مورد بررسی قرار می‌گیرد. پارامتر P4 زمان میانگین گیری است. در صورتی که خطای یا در این بازه زمانی بالاتر از حداقل خطای یا باشد، آنگاه زمان‌های انتظار در نظر گرفته می‌شوند. این زمان برای بازه ۵ تا ۵۰ ثانیه بررسی شده است. مقدار بهینه برای این پارامتر که بالاترین توان و کمترین زمان فعال بودن را نتیجه دهد، P4=15 است. نتایج این بررسی در شکل ۴ آمده است.



شکل ۴: بررسی تاثیر زمان متوسط گیری بر توان و زمان فعال بودن سیستم یا

پارامتر P5 نیز معرف حداقل زاویه‌ای است که کنترلر یا در آن فعال می‌شود. این پارامتر برای بازه ۵ تا ۱۰ درجه بررسی شده است. زاویه خطای یا ۷ درجه کمترین زمان فعال بودن سیستم یا و بالاترین توان را نتیجه می‌دهد. در شکل ۵ این تغییرات نشان داده شده است.



شکل ۵: بررسی تاثیر حداقل خطای یا بر توان و زمان فعال بودن سیستم یا

### ۶. نتیجه گیری

در این مقاله استراتژی کنترلی برای سیستم یا یک توربین بادی مگاواتی تدوین شد. این استراتژی بر اساس سه پارامتر ۱- حداقل کردن زمان فعال بودن سیستم یا ۲- حداقل کردن بارهای وارده به سیستم یا و ۳- حداکثر توان استخراجی از توربین ایجاد گردید. بدین وسیله ۱۱ پارامتر برای تدوین این استراتژی به کار گرفته شد و روش استخراج این پارامترها شرح داده شد. هم چنین با استفاده از مدلسازی انجام گرفته مشخص گردید که حساسیت به توان خروجی توربین بسیار کم است. به عبارتی تغییرات گسترده در پارامترهای کنترلی اثر بسیار کمی بر تغییرات توان خروجی از توربین دارد. اما بالعکس تاثیر تغییرات پارامترها بر زمان فعال بودن سیستم یا و بارهای وارده به اجزاء بسیار زیاد است. هم چنین مشخص شد که دو پارامتر حداقل خطای یا و زمان میانگین گیری بیشترین اثر را روی زمان فعال بودن سیستم یا و بارهای وارده به توربین دارند.

### منابع

- [1] Wind turbines fundamentals, technologies, application, economics, Erich Hau, second Edition.
- [2] A.C.Hansen, yaw dynamics of horizontal axis wind turbines, NREL Report,1992
- [3] DOWEC 6 MW pre-design, Aero-elastic modeling of the DOWEC 6 MW pre-design in PHATAS, DOWEC-F1W2-HJK-01-046/9, 2003
- [4] Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, Guideline for the Certification of wind Turbines, Edition 2010

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی

توجه: بررسی مقاله ای متون (مقدماتی)

کارگاه آنلاین  
بررسی مقابله ای متون (مقدماتی)

PROPOSAL  
پروپوزال

توجه: پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

کارگاه آنلاین  
پروپوزال نویسی و پایان نامه نویسی

ISI  
Scopus

توجه: آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو

کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو