



کارگاه فناوری‌های تولیدات پراکنده

جلسه سوم

- ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب توربین‌های بادی





ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

ضوابط اتصال و بهره برداری نیروگاه های بادی بزرگ به شبکه سراسری برق:

- الزامات توان اکتیو و فرکانس
- الزامات توان راکتیو و ولتاژ
- الزامات حفاظت و تحمل خطا
- الزامات کیفیت توان
- الزامات مدل سازی، پایش، کنترل، ارتباطات و ثبت وقایع
- الزامات تست



ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

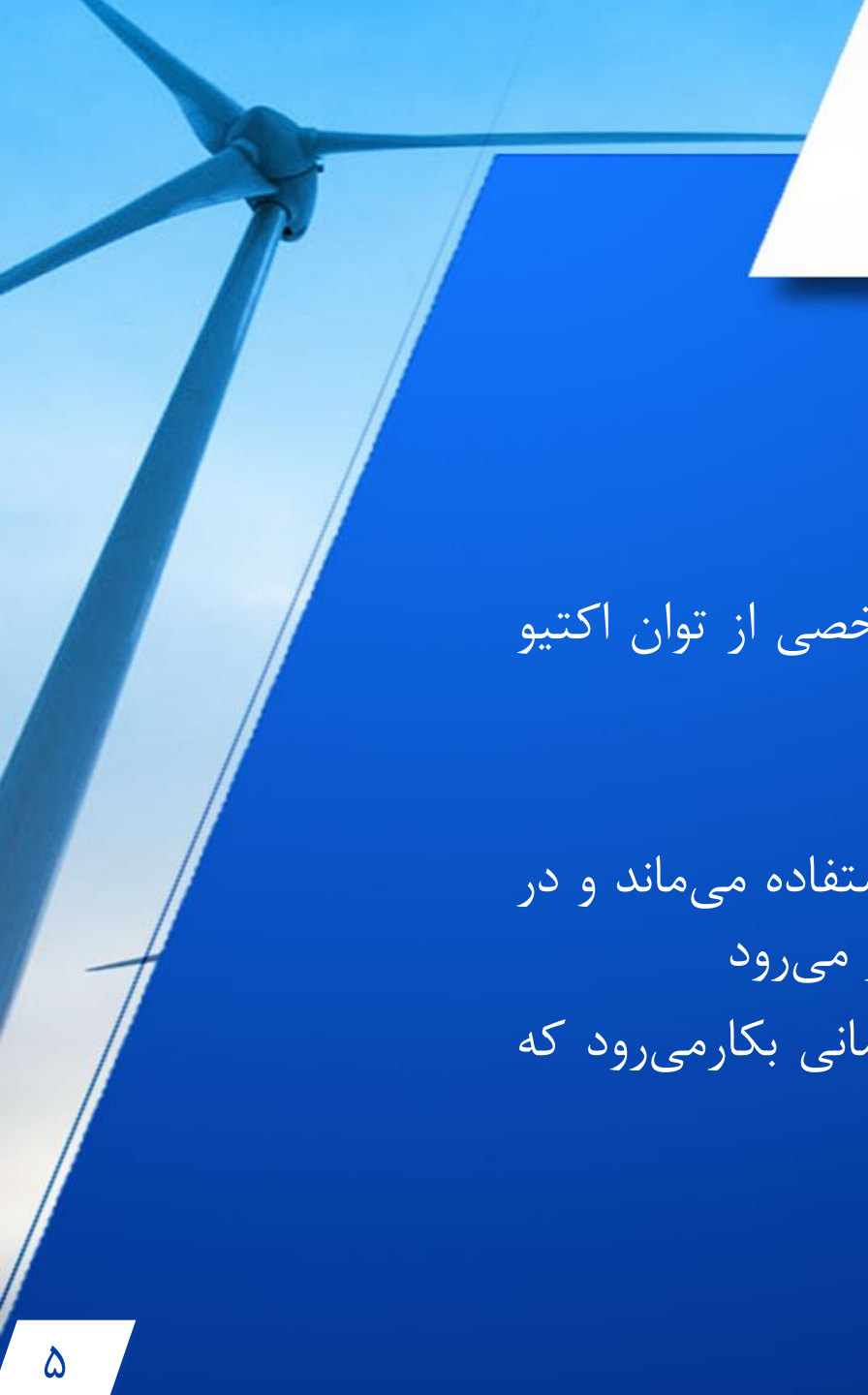
الزامات توان اکتیو و فرکانس:

❖ لزوم کنترل توان اکتیو:

- ✓ محدود کردن تولید حداکثر انرژی باد و حفظ امنیت شبکه
- ✓ کاهش توان تزریقی به شبکه و حفظ تعادل بار
- ✓ رفع پرشدگی خطوط
- ✓ کنترل فرکانس
- ✓ قیود پایداری شبکه
- ✓ کنترل ولتاژ

❖ لزوم کنترل فرکانس:

- ✓ حفظ فرکانس شبکه در محدوده مجاز (50 ± 0.2)



ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات توان اکتیو و فرکانس:

❖ ظرفیت رزرو:

- محدودیت دلتای توان اکتیو: محدود کردن توان تولیدی باد به درصد مشخصی از توان اکتیو در دسترس (حداکثر توان قابل تولید توسط باد)
- با هدف ایجاد رزرو چرخان
- در این حالت بخشی از انرژی باد که قابلیت تولید توان الکتریکی دارد بلااستفاده می‌ماند و در صورت لزوم به صورت رزرو جهت کنترل فرکانس در زمان افت فرکانس بکار می‌رود
- وجود ظرفیت رزرو برای تمامی نیروگاه‌های بادی ضروری نیست و تنها زمانی بکار می‌رود که ضریب نفوذ باد بالا باشد

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات توان اکتیو و فرکانس:

❖ محدودیت نرخ تغییر توان اکتیو (Ramp Rate Constraint):

- نیروگاه‌های بادی به صورت ذاتی توان ثابت تولید نمی‌کنند؛ زیرا توان خروجی آنها متناسب با سرعت باد است.
- تغییرات توان تولیدی نیروگاه‌های بادی توسط منابع دیگر موجود در شبکه (نیروگاه‌های سنتی) پوشش داده می‌شود. برنامه‌ریزی تولید در نیروگاه‌های سنتی آن شبکه عموماً بر اساس توان پیش‌بینی شده نیروگاه‌های بادی انجام می‌گیرد.
- لذا به منظور عملکرد یکنواخت شبکه، محدوده مجاز برای تغییر در توان خروجی نیروگاه بادی تعیین می‌گردد.
- حداکثر نرخ تغییر توان نیروگاه بادی معمولاً به اندازه‌ای است که منابع دیگر موجود در شبکه بتوانند افزایش/کاهش توان اکتیو را در زمان مناسب و با در نظر گرفتن یک مقدار منطقی به عنوان رزرو چرخان پاسخ دهند.

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات توان اکتیو و فرکانس:

❖ سیستم کنترل فرکانس:

- جهت حفظ فرکانس در محدوده مجاز، ژنراتورها می‌توانند در دوره‌های زمانی کوتاه، توان خروجی خود را بر مبنای تغییرات فرکانس شبکه تنظیم کنند.
- به منظور کنترل فرکانس توسط توربین‌های بادی، ژنراتور توربین بایستی قابلیت کنترل توان خروجی خود را داشته باشد (ژنراتورهای سرعت متغیر و یا مجهز به کنترل کننده زاویه pitch)
- فاکتور مهم دیگر در قابلیت ژنراتور بادی برای کنترل فرکانس به طور مشخص به شرایط باد وابسته است؛ به این دلیل که بدون باد توان خروجی برای تنظیم شدن در کار نخواهد بود.
- نحوه مشارکت نیروگاه بادی در زمینه کنترل فرکانس معمولاً با "درصد منحنی توان اکتیو-فرکانس" مشخص می‌شود. در این منحنی، در محدوده فرکانسی که نیروگاه باید به شبکه متصل باقی بماند، حداکثر سه ناحیه کنترلی متفاوت می‌تواند وجود داشته باشد.

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات توان راکتیو و ولتاژ:

❖ مدهای کاری کنترل ولتاژ:

- کنترل توان راکتیو نیروگاه‌های بادی در شبکه انتقال بیشتر با هدف تنظیم ولتاژ انجام می‌شود تا برآورده کردن نیازهای راکتیو
- تنظیم ولتاژ در شبکه، رابطه مستقیم با کنترل توان راکتیو دارد. با توجه به اتصال نیروگاه‌های بادی به شبکه انتقال، این انتظار از نیروگاه‌های بادی وجود دارد که به اندازه ژنراتورهای سنکرون دارای قابلیت‌های کنترل توان راکتیو باشند.
- الزامات توان راکتیو در یک شبکه به مشخصات خود شبکه مربوط می‌باشد؛ در حالی که میزان تأثیر تزریق توان راکتیو به یک نقطه از شبکه بر روی ولتاژ شبکه در آن نقطه، به ظرفیت اتصال کوتاه شبکه در آن نقطه بستگی دارد.

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات توان راکتیو و ولتاژ:

❖ مد تنظیم توان راکتیو:

- در این مد، توان راکتیو خروجی، مستقل از توان اکتیو نیروگاه، در یک مقدار مشخص تثبیت می‌شود.
- نیروگاه بادی سیگنال مرجع توان راکتیو را با دقت مشخصی دریافت می‌کند و مشابه توان اکتیو، توان راکتیو خود را در این مقدار تثبیت می‌نماید.

❖ مد تنظیم ضریب توان:

- توان راکتیو متناسب با توان اکتیو تنظیم می‌شود تا ضریب توان بر روی یک مقدار ثابت تنظیم شود.

❖ مد تنظیم ولتاژ:

- به طور معمول مقدار مرجع ولتاژ توسط بهره بردار شبکه تعیین می‌شود و نیروگاه بادی، ولتاژ خود را بر روی آن تنظیم می‌نماید.
- در برخی از کشورها، به جای مرجع ولتاژ، یک محدوده مشخص بین ولتاژ حداقل و حداکثر به همراه منحنی دروپ ولتاژ-توان راکتیو ارائه می‌شود. طبق این منحنی، ولتاژ نیروگاه بادی با شیب مشخص و متناسب با توان راکتیو خروجی تنظیم می‌شود.

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات توان راکتیو و ولتاژ:

□ در شبکه انتقال، استفاده از نیروگاه‌های بادی در مد تنظیم ولتاژ عمومیت بیشتری نسبت به مدهای تنظیم توان راکتیو و تنظیم ضریب توان دارد. چرا که نیروگاه‌های بادی معمولاً در نقاط دور از مصرف احداث می‌شوند. خطوط طولانی میان تولیدکننده و مصرف‌کننده و افزایش تلفات یا افزایش احتمالی ولتاژ - در نتیجه عبور توان راکتیو- سبب می‌شود که نیروگاه‌های بادی ملزم به تنظیم ولتاژ خروجی خود در نقطه اتصال به شبکه شوند.

□ تنظیم ولتاژ عموماً به دو طریق انجام می‌شود:

▪ تنظیم کننده خودکار ولتاژ (AVR)

▪ تپ ترانسفورماتور

□ در مد تنظیم ولتاژ نیروگاه بادی باید قابلیت تنظیم ولتاژ نقطه اتصال بر روی یک مقدار مرجع را داشته باشد.

□ چنان چه بهره‌برداری در مد تنظیم توان راکتیو یا تنظیم ضریب توان مورد نیاز باشد، این مسأله باید در توافق نامه بین مالک نیروگاه بادی و بهره‌بردار شبکه قید شود.

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات توان راکتیو و ولتاژ:

❖ محدوده توان اکتیو برای رعایت ضریب توان:

- توربین‌های سرعت متغیر می‌توانند در حالت کم‌باری یا بی‌باری توان راکتیو تولید نمایند اما لزوماً قادر به حفظ ضریب توان خود در محدوده مجاز، از توان اکتیو صفر تا توان اکتیو حداکثر، نمی‌باشند.
- اصرار بر وجود چنین الزامی ممکن است منجر به نیاز برای نصب جبران‌سازهای راکتیو دیگری در نیروگاه بادی شود. مسأله توجیه پذیری وجود این قابلیت اضافی از اهمیت زیادی برخوردار است. واضح است که با تولید توان اکتیو، نیروگاه بادی باید در کنترل ولتاژ شبکه نیز مشارکت کند؛ با این حال، اگر نیروگاه بادی از شبکه حذف شود، اثر آن شبیه به تولید توان راکتیو در توان اکتیو صفر می‌باشد
- الزام یک نیروگاه بادی به تولید توان راکتیو در بی‌باری (توان اکتیو صفر) به معنی در نظر گرفتن عملکرد آن فراتر از یک تولیدکننده برق است. این امر ممکن است در ضریب نفوذ بالا قابل توجیه باشد؛ اما در ضریب نفوذ پایین‌تر به راحتی قابلیت دفاع ندارد.
- لذا در دستورالعمل برخی کشورها حداقلی از توان اکتیو تعیین می‌شود که رعایت محدوده ضریب توان، تنها از توان اکتیو حداقل تعیین شده تا توان اکتیو حداکثر الزامی باشد. به همین دلیل، در توافق نامه میان مالک نیروگاه و بهره‌بردار شبکه باید قید شود که بازه ضریب توان مورد نیاز، حداقل تا چه درصدی از توان اکتیو در دسترس، لازم است توسط نیروگاه بادی تأمین شود.

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات کیفیت توان:

- ❖ کیفیت برق، نشان‌دهنده وضعیت تغییرات یا اعوجاج یا اغتشاش در کمیت‌های ولتاژ، جریان و فرکانس می‌باشد. اگر کمیت‌های یادشده وضعیت مناسبی نداشته باشند، کیفیت برق نامناسب خواهد بود که می‌تواند خرابی و یا عملکرد نادرست تجهیزات شبکه و مشترکین را به دنبال داشته باشد.
- ❖ نیروگاه‌های بادی بر اساس ساختارشان با نیروگاه‌های سنتی که فقط شامل یک ژنراتور سنکرون هستند، تفاوت زیادی دارند؛ زیرا معمولاً شامل ادوات الکترونیک قدرت هستند و بدلیل همین ویژگی، می‌تواند تأثیرات آنها را بر روی شبکه برق متمایز نماید.
- ❖ از آنجا که سرعت و جهت باد یک متغیر نامعین است، اگر نیروگاه بادی کنترل‌کننده‌های ویژه‌ای نداشته باشد، توان تولیدی کاملاً به طور اتفاقی تغییر خواهد کرد؛ به همین دلیل، معمولاً از مبدل الکترونیک قدرت برای اتصال توربین بادی به شبکه استفاده می‌شود.
- ❖ الزامات کیفیت توان نیروگاه بادی شامل چهار محور مهم فلیکر ولتاژ، نامتعادلی ولتاژ، هارمونیک‌ها و هارمونیک‌های میانی می‌باشند.

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات کیفیت توان

❖ فلیکر ولتاژ:

- به تغییرات سریع و نوسانات ولتاژ به دلیل تغییر در بار مصرفی و یا کلیدزنی فلیکر ولتاژ گفته می‌شود. فلیکر ولتاژ اغلب خود را به صورت سوسو زدن لامپ‌ها نشان می‌دهد.
- از عوامل اصلی تولید این پدیده بارهای صنعتی، ماشینهای جوشکاری، کارخانه نورد آهن و کوره‌های قوس الکتریکی می‌باشند.
- برای اندازه‌گیری فلیکر از دستگاهی استفاده برای محاسبه دو شاخص استفاده می‌شود
 - شاخص کوتاه‌مدت فلیکر: شدت فلیکر در یک دوره زمانی ۱۰ دقیقه ای
 - شاخص بلندمدت فلیکر: شدت فلیکر در یک دوره زمانی ۲ ساعته
- وقتی شاخص برابر یک است، میزان فلیکر در آستانه آزاردهی چشم انسان می‌باشد.
- استاندارد وضع شده در ایران برای حداکثر میزان فلیکر ولتاژ اندازه‌گیری شده در حالت‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت باید به ترتیب برابر ۰/۸ و ۰/۶ می‌باشد که برای مولدهای بادی نیز صادق است.

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات کیفیت توان

❖ نامتعادلی ولتاژ:

- نامتعادلی یا عدم تعادل ولتاژ، به حالتی گفته می‌شود که مقادیر ولتاژ سه فاز با یکدیگر متفاوت بوده و یا اختلاف فاز ۱۲۰ درجه بین فازها وجود نداشته باشد که منشأ اصلی آن وجود بارهای تک فاز در شبکه و توزیع غیریکنواخت آنها روی سه فاز است.
- نامتعادلی ولتاژ می‌تواند تأثیرات قابل ملاحظه‌ای در ژنراتورها به وجود آورد. همچنین، این پدیده اثرات حرارتی نامناسبی را روی برخی تجهیزات، مانند موتورهای و ترانسفورماتورها ایجاد می‌نماید که ممکن است موجب آسیب دیدگی این تجهیزات شود.
- برای اندازه‌گیری این پدیده از شاخصی به نام درصد نامتعادلی ولتاژ استفاده می‌شود.
- درصد نامتعادلی ولتاژ برابر است با نسبت مقدار مؤلفه توالی منفی یا صفر ولتاژ به مؤلفه توالی مثبت
- در اتصال توربین‌های بادی به شبکه درصد نامتعادلی ولتاژ باید حداکثر برابر با ۱ درصد باشد.

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات کیفیت توان

❖ هارمونیک‌ها:

- در شبکه برق، هارمونیک‌ها، ولتاژها یا جریانهای سینوسی هستند که فرکانس آنها مضربی صحیح از فرکانس نامی شبکه است.
- جریانها و ولتاژهای هارمونیکی سبب اضافه حرارت در تجهیزات، ترانسفورماتورها و هادیهای حامل جریان و عملکرد نامناسب تجهیزات حفاظتی (مانند فیوزها) می‌شوند. همچنین، ممکن است تشدید هارمونیکی به وجود آورند که می‌تواند موجب خرابی و آسیب‌دیدگی تجهیزات شبکه شود.
- جهت حفظ کیفیت توان شبکه، حدود مجاز هارمونیک‌ها تعیین شده است، که در اتصال نیروگاه‌های بادی نیز بایستی مدنظر قرار گیرند.

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات مدل‌سازی، پایش، کنترل، ارتباطات و ثبت وقایع

❖ مدل‌سازی:

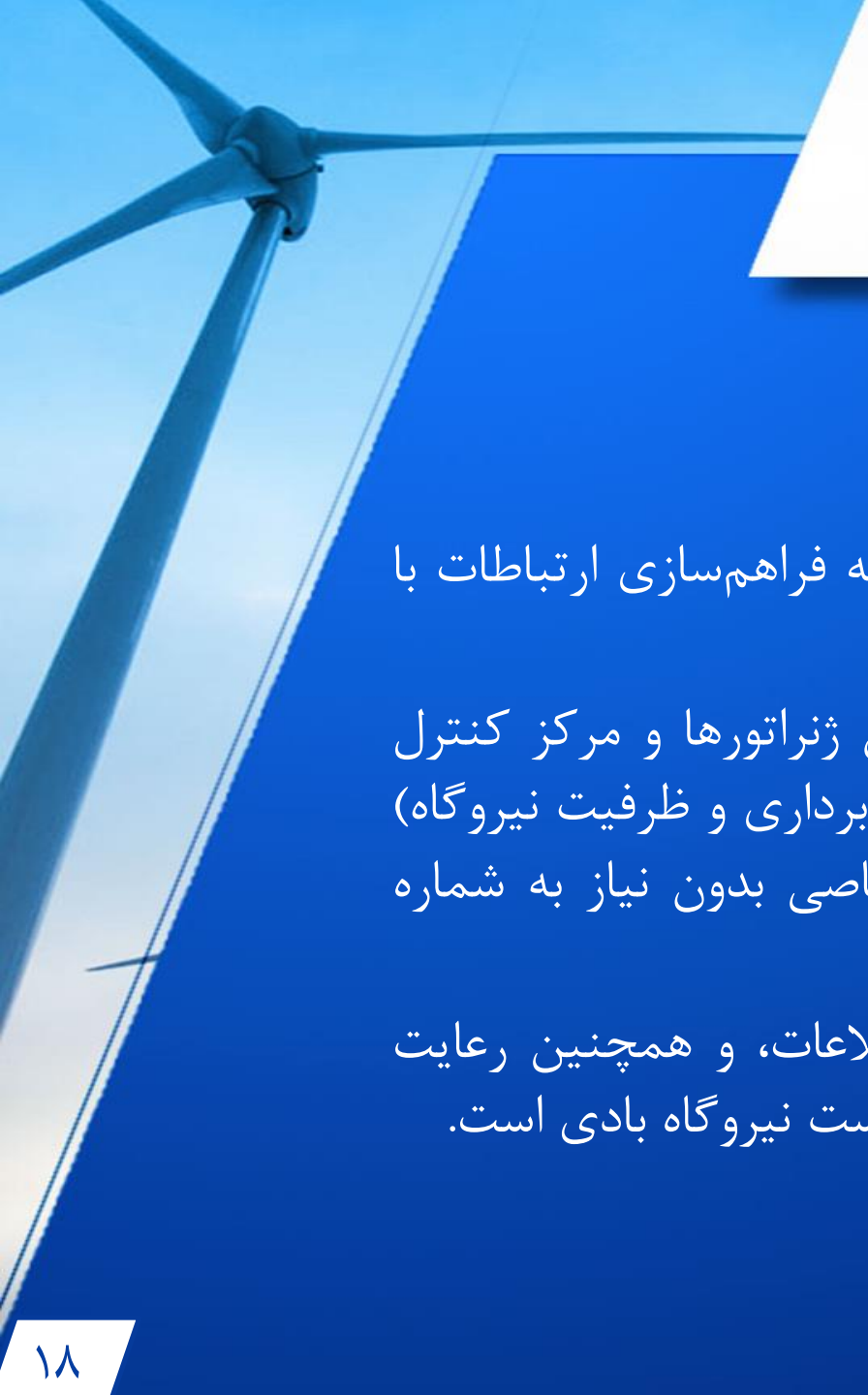
- افزایش نفوذ نیروگاه‌های بادی در شبکه، نیاز به مطالعات جامع درباره تأثیر نیروگاه‌های بادی بر شبکه را افزایش داده است که این امر مستلزم مشخص بودن اطلاعات توربین‌های بادی به منظور ارائه مدلی مناسب جهت استفاده در نرم افزارهای تحلیل شبکه است.
- توربین‌های بادی به دلیل داشتن ژنراتورهای القایی یا سنکرون در انواع سرعت ثابت و سرعت متغیر و همچنین مبدل‌های الکترونیک قدرت، از نیروگاه‌های سنتی متمایز می‌باشند و لذا مدل‌سازی توربین‌های بادی الزامات خاص خود را دارد.
- در گذشته، به دلیل مسائل اقتصادی، سازندگان توربین‌های بادی در هنگام اتصال به شبکه، مدل توربین‌های بادی را به صورت مدل جعبه سیاه ارائه می‌دادند و هیچ یک از عناصر آن قابل تغییر توسط بهره بردار شبکه نبود.

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات مدل‌سازی، پایش، کنترل، ارتباطات و ثبت وقایع

❖ مدلسازی:

- به تدریج، با زیاده‌تر شدن نیروگاه‌های بادی، مدلسازی آن عام‌تر شد؛ تا جایی که چندین مدل عام برای توربین بادی ارائه شد و الزامات آن برای مدلسازی توربین‌های مختلف بیان گردید.
- در حال حاضر مالک نیروگاه بادی باید قبل از اتصال به شبکه، مدل نیروگاه را که مناسب و قابل استفاده توسط بهره‌بردار شبکه باشد، در اختیار وی قرار دهد. این مدل شامل دو مدل استاتیکی و دینامیکی می‌باشد که مدل استاتیکی باید برای انجام تحلیل‌های پخش بار و اتصال کوتاه و مدل دینامیکی باید برای تحلیل‌های گذرا و دینامیکی شبکه مناسب باشد.
- مدل‌هایی که به بهره‌بردار شبکه داده می‌شوند، باید قابلیت ورود اطلاعات و تغییر آنها را برای پارامترهای مورد نظر بهره‌بردار شبکه داشته باشند.
- مالک نیروگاه بادی باید مدل را به دو شکل، مدل تک تک توربین‌های بادی موجود در نیروگاه بادی و مدل مجتمع شده نیروگاه بادی، به بهره‌بردار شبکه تحویل دهد.

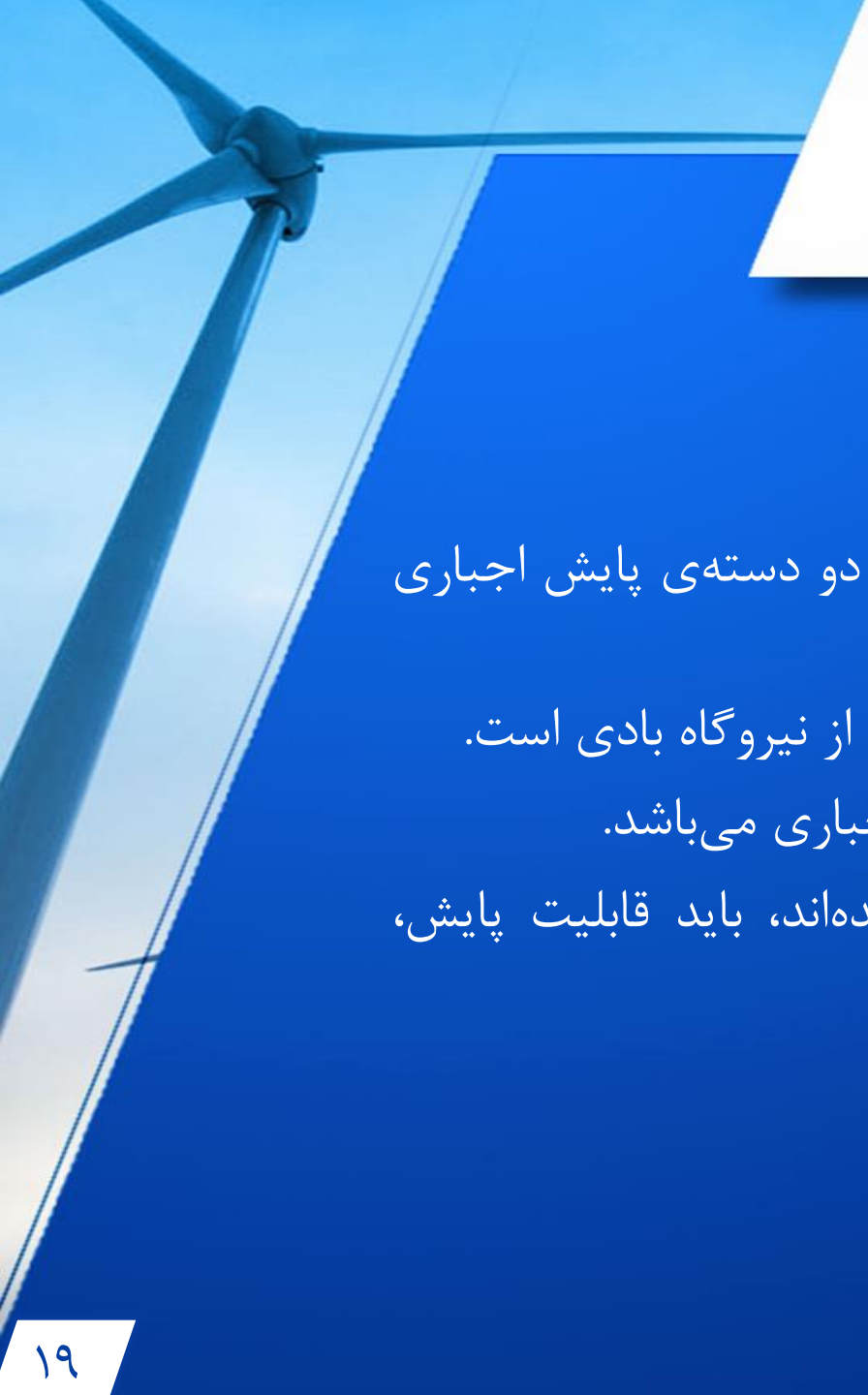


ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات مدل‌سازی، پایش، کنترل، ارتباطات و ثبت وقایع

❖ کنترل، پایش و ارتباطات:

- مالک نیروگاه بادی موظف به تأمین زیرساخت‌ها و سیگنال‌های لازم در زمینه فراهم‌سازی ارتباطات با بهره‌بردار شبکه می‌باشد تا بتواند اجازه اتصال به شبکه را پیدا کند.
- در فرآیندهای کنترل و هماهنگی مانورها، برقراری تماس بین اتاق فرمان ژنراتورها و مرکز کنترل دیسپاچینگ ملی یا منطقه‌ای (با توجه به مفاد دستورالعمل‌های ثابت بهره‌برداری و ظرفیت نیروگاه) باید با استفاده از سیستم تلفنی ویژه دیسپاچینگ DTS (تلفن‌های اختصاصی بدون نیاز به شماره گیری) انجام گیرد.
- مسئولیت تهیه، نصب و راه‌اندازی تجهیزات SCADA جهت جمع‌آوری اطلاعات، و همچنین رعایت کلیه استانداردها و پروتکل‌های جمع‌آوری و ارسال اطلاعات به عهده مالک پست نیروگاه بادی است.

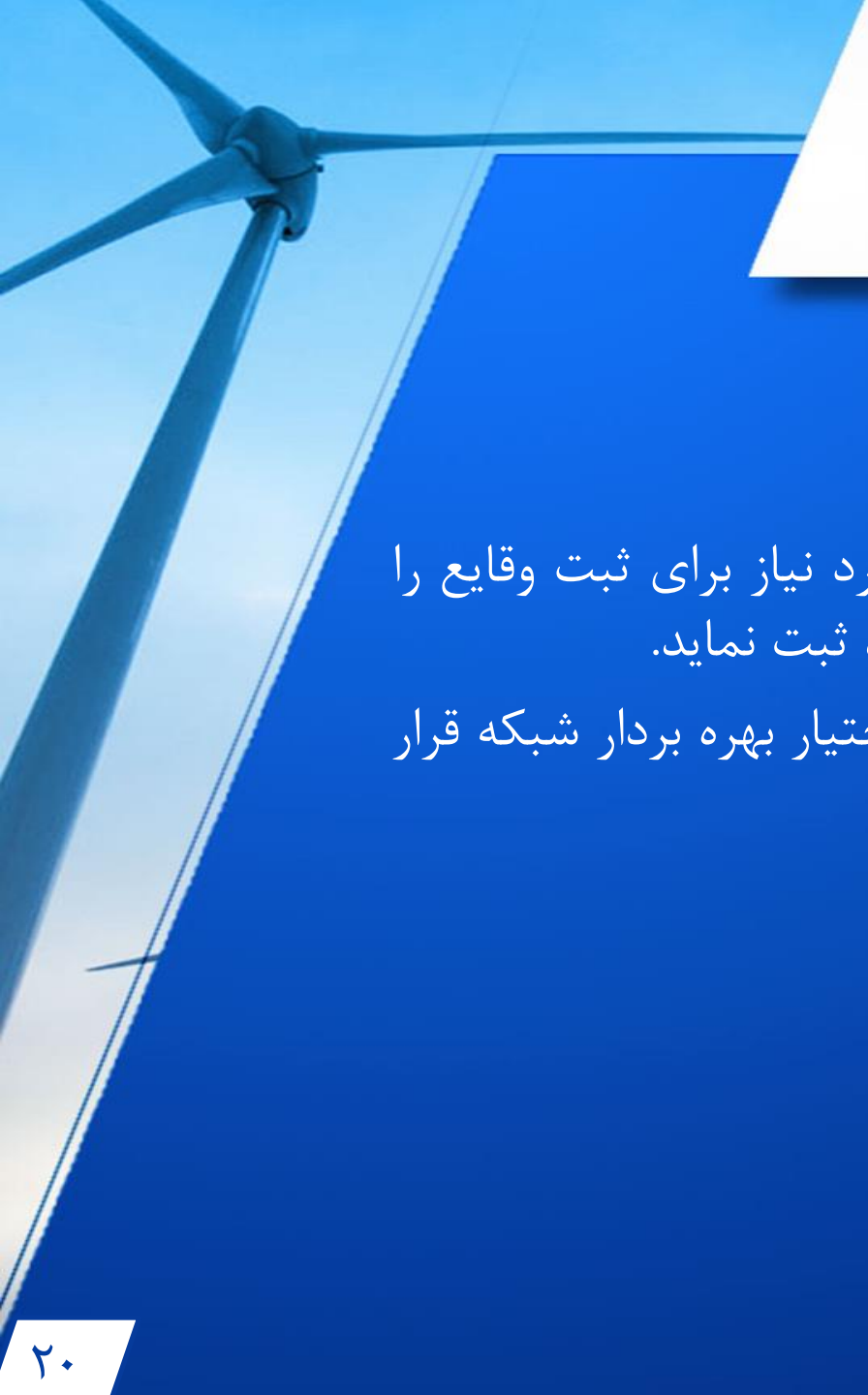


ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات مدل‌سازی، پایش، کنترل، ارتباطات و ثبت وقایع

❖ کنترل، پایش و ارتباطات:

- استاندارد IEC 61400-25-2، پایش سیگنال‌های مربوط به نیروگاه بادی را به دو دسته‌ی پایش اجباری و پایش اختیاری تقسیم‌بندی نموده است.
- پایش اجباری به معنی پایش حداقل سیگنال‌های مورد نیاز برای بهره‌برداری از نیروگاه بادی است.
- در مقابل، پایش اختیاری به معنی پایش سیگنال‌هایی علاوه بر سیگنال‌های اجباری می‌باشد.
- تمامی سیگنال‌های اجباری که در استاندارد IEC 61400-25-2 معرفی شده‌اند، باید قابلیت پایش، اندازه‌گیری، ارسال و دریافت را داشته باشند.



ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات مدل‌سازی، پایش، کنترل، ارتباطات و ثبت وقایع

❖ ثبت وقایع:

- مالک نیروگاه بادی موظف است در محل اتصال به شبکه، دستگاه‌های مورد نیاز برای ثبت وقایع را نصب نماید و برخی اطلاعات نیروگاه را که بهره‌بردار شبکه مشخص می‌کند، ثبت نماید.
- مالک نیروگاه بادی موظف است اطلاعات ثبت وقایع را در صورت نیاز در اختیار بهره‌بردار شبکه قرار دهد.

– حداقل اطلاعات نیروگاه که باید ثبت شوند عبارتند از:

- ولتاژ هر فاز
- جریان هر فاز
- توان اکتیو
- توان راکتیو
- فرکانس
- ولتاژ هر ژنراتور

ملاحظات فنی، زیرساخت‌ها و تجهیزات مورد نیاز جهت نصب

الزامات تست

- ❖ برای حصول اطمینان از اینکه یک نیروگاه بادی مطابق با دستورالعملی از پیش تعیین شده عمل می‌کند، پیش از اتصال به شبکه، باید تستهای مرتبط با آن دستورالعمل را گذرانده باشد.
- ❖ این تستها، با عنوان تستهای اتصال، برای هر دستورالعملی متفاوت می‌باشند و بسته به مورد می‌توانند بر روی یک توربین بادی و یا بر روی مجموعه توربینها (نیروگاه بادی) انجام شوند.
- ❖ در مورد هر تست، موارد زیر باید مشخص شوند:
 - ✓ حداقل شرایط مورد نیاز پیش از انجام تست (مانند وضعیت باد، تعداد توربینهای در دسترس، ادوات کنترل توان راکتیو در دسترس و)
 - ✓ اجراکننده تست و نظارت‌کننده بر حسن انجام آن
 - ✓ تجهیزات انجام و اندازه‌گیری تست و دقت مورد نیاز برای آنها
 - ✓ روند انجام تست
 - ✓ نقاط اندازه‌گیری و اطلاعاتی که باید در حین انجام تست ثبت شوند
 - ✓ معیار قبولی در تست

با سپاس از توجه شما