

شرایط اجرا و دستورالعمل فنی  
نصب توربین‌های بادی کوچک با ظرفیت کمتر از ۱ مگاوات

شرح کلی خدمات و مشخصات فنی  
نصب سامانه‌های توربین‌های بادی با ظرفیت کمتر از ۱ مگاوات

## ۱) شرح کلی خدمات انجام کار

طراحی، تهیه و تامین تجهیزات، ساخت، نصب و راه اندازی توربین‌های بادی با ظرفیت از نوع متصل به شبکه برای مشترکین متقاضی، حداکثر میزان توان توربین بادی برای هر مشترک متقاضی محدود بسته به فناوری مورد استفاده و به ظرفیت انشعاب متقاضی تا سقف صد (۱۰۰) کیلووات یا ۱ مگاوات، می باشد. منظور از مشترک متقاضی، مشترکین خانگی، عمومی و تجاری می باشد.

در این طرح برای هر مشترک متقاضی در صورت احراز شرایط مندرج در دستور العمل اجرایی، مجاز به احداث حداکثر یکصد (۱۰۰) کیلووات یا ۱ مگاوات (بسته به فناوری مورد استفاده) توربین بادی می باشد.

## ۲) اقدامات مقدماتی

بازدید اولیه از محل جهت انجام برآوردهای مورد نیاز، تعیین محل پیشنهادی و اولیه، بررسی وضعیت محل از نظر سرعت متوسط سالیانه باد، جهت باد غالب و شدت آشفستگی، عوارض زمین، دسترسی به شبکه برق، جاده‌های دسترسی، پوشش منطقه، وضعیت موانع و سازه‌ها و ساختمان‌های موجود در منطقه، از جمله اقدامات اولیه است که در این خصوص انجام می گیرد.

## ۳) عملیات طراحی:

در این قسمت عملیات مربوط به تهیه مشخصات فنی و نقشه‌های اجرایی، انتخاب تجهیزات مانند برج، اینورتر (اینورترها)، فونداسیون و به همراه تجهیزات لازم جهت اتصال به شبکه، توسط پیمانکار، صورت می گیرد.

## ۴) شرح عملیات تهیه و خرید:

خرید تجهیزات شامل توربین بادی، اینورترها، کابل‌ها و سایر متعلقات، تابلو‌ها، فیوزها و کلیدهای لازم، تهیه تابلوی اتصال به شبکه و کابل کشی‌های لازم و تهیه سیستم زمین به همراه متعلقات می باشد.

## ۵) شرح عملیات نصب و راه اندازی:

بازدید نهایی از محل تعیین شده، بررسی و تعیین محل نهایی جهت نصب سامانه، عملیات نصب و راه اندازی شامل، اجرای فونداسیون، نصب برج، سیم کشی، نصب اینورتر، نصب تابلو‌های لازم به همراه تجهیزات جهت تزریق به شبکه، اجرای سیستم زمین مورد نیاز، راه اندازی کل سیستم شامل راه اندازی بخش DC و AC است.

## مشخصات فنی تجهیزات

در این قسمت مشخصات فنی عمومی که جهت انتخاب تجهیزات مد نظر میباشد به تفکیک اجزا و تجهیزات ارائه شده است.

### الف) مشخصات فنی عمومی جهت انتخاب توربین بادی

نکات حائز اهمیت در خصوص انتخاب توربین بادی جهت کاربرد در این پروژه به شرح زیر مطرح شده است.

#### ۱) توربین بادی با ظرفیت کمتر از ۱۰۰ کیلووات با عنوان توربین بادی کوچک

- توربین بادی محور افقی ۳ و ۵ پره
- بهتر است توربین در بالادست موانع، ساختمان‌ها و درختان نصب شود.
- فاصله هر مانع از برج توربین بادی باید حداقل ۹۰ متر باشد.
- پایین‌ترین قسمت روتور (نوک پره وقتی در پایین‌ترین وضعیت ممکن در راستای عمودی قرار می‌گیرد باید ۹ متر بالاتر از بیشترین ارتفاع هر مانعی باشد).
- برج توربین‌های بادی می‌تواند خرپایی شکل یا لوله‌ای شکل باشد.
- برج توربین‌های بادی می‌تواند به صورت خودایستا، مهاری یا tilt down سوار شود.
- در صورت نصب توربین بادی بر روی بام باید تأثیر آن بر استحکام سازه‌ای و سروصدای ایجاد شده مد نظر قرار گیرد.
- در صورت نصب توربین بادی بر روی بام آشفستگی تولید شده منجر به کاهش عمر توربین بادی خواهد شد که باید در محاسبات اقتصادی در نظر گرفته شود.
- ارتفاع برج توربین‌ها با توجه به ظرفیت نامی آن متغیر است:
  - توربین باد ظرفیت ۲/۴ کیلووات - ارتفاع برج بین ۹ تا ۱۸ متر
  - توربین با ظرفیت ۲۰ کیلووات - ارتفاع برج برابر با ۲۴ متر
  - توربین با ظرفیت ۵۰ کیلووات - ارتفاع برج برابر با ۳۰ متر
  - توربین با ظرفیت ۱۰۰ کیلووات - ارتفاع برج برابر با ۴۵ متر
- ارتفاع برج توسط تولیدکننده تعیین شده و می‌تواند با اعداد فوق فرق نماید. این اعداد تنها برای برآوردی از ارتفاع برج مورد نیاز ارائه گردیده‌اند.
- تجهیزات اصلی مورد استفاده با توجه به شیوه کاربرد متفاوت خواهد بود:
  - تجهیزات مورد نیاز در سیستم‌های متصل به شبکه: کنترل‌کننده توربین بادی، اینورتر، سیم‌کشی و در برخی موارد بانک باتری (ضروری نیست)
  - در مورد باتری‌ها استفاده از باتری‌های Automotive توصیه نشده و استفاده از باتری‌های Deep-cycle توصیه می‌شود.
  - باتری‌ها باید از محل زندگی روزمره و سایر تجهیزات الکتریکی کاملاً مجزا شده باشند.
  - در صورت استفاده از باتری‌های Lead-acid باید در برابر دماهای بسیار زیاد حفاظت‌های لازم صورت پذیرد.
  - کنترل‌کننده‌های توربین بادی، اینورترها و سایر تجهیزات الکتریکی استفاده شده باید از آزمایشگاه‌های معتبر تأییدیه داشته باشند.
- تولیدکننده باید دستورالعمل نصب، راه‌اندازی، بازرسی و تعمیر و نگهداری را در اختیار مشتری قرار دهد.
- بازرسی‌های دوره‌ای و پیشگیرانه از کلیه تجهیزات باید بر اساس دستورالعمل تولیدکننده صورت پذیرد.
- ارزیابی منابع باد با استفاده از نصب ایستگاه ثبت اتوماتیک آمار باد و تحلیل داده‌های برداشت شده صورت پذیرد که موارد زیر باید در آن رعایت شود:

- ارتفاع دکل ایستگاه ثبت اتوماتیک آمار باد باید با ارتفاع هاب توربین بادی برابر بوده یا اختلاف چندانی نداشته باشد.
- نصب ۳ سنسور سنجش سرعت، ۲ سنسور سنجش جهت، ۱ سنسور سنجش حرارت، ۱ سنسور سنجش رطوبت، ۱ سنسور سنجش فشار و ۱ سنسور سنجش تابش پیشنهاد می‌شود.
- کلیه سنسورها باید کالیبره شده باشند و در مورد سنسور سرعت کالیبراسیون بر اساس استاندارد Measnet صورت پذیرد.
- مدارک کالیبراسیون کلیه سنسورها به همراه ضرایب مربوطه باید در هنگام تأمین تجهیزات تحویل شود.
- برآورد برق بادی قابل تولید باید پس از اعمال ضرائب کالیبراسیون بر روی داده‌ها و اعتبارسنجی آن‌ها صورت پذیرد.
- مقادیر سرعت متوسط سالیانه باد و جهت باد غالب باید در تحلیل‌ها برای سنجش اولیه پتانسیل انرژی بادی تعیین شوند.
- داده‌برداری باید حداقل یک‌سال را پوشش دهد.
- قطعی داده‌ها در مجموع نباید بیش از ۲ ماه بوده و به صورت مستمر نیز از ۲ هفته بیشتر نباشد.
- درصد بازیابی داده‌ها (نسبت تعداد داده‌های درست به کل داده‌ها بر حسب درصد) باید بیش از ۹۰ درصد باشد.
- نمودارهای گلباد، هیستوگرام، ویبول، پروفیل مقطع عرضی باد (برش باد) و مقادیر چگالی و چگالی توان بادی در ارتفاع‌های مختلف جهت سنجش پتانسیل منطقه باید برآورد شود.
- استفاده عملی از توربین بادی کوچک به حداقل میانگین سالیانه سرعت باد برابر با ۴/۵ متر بر ثانیه نیازمند است.
- در هنگام تأمین تجهیزات باید به شرایط اقلیمی و جوی منطقه توجه داشت :
- در مناطق با عوارض پیچیده، آشفته‌گی بر طول عمر توربین بادی تأثیر منفی می‌گذارد که باید در محاسبات لحاظ شود.
- در مناطق سردسیر امکان یخ‌زدگی تجهیزات وجود دارد که باید تجهیزات موردنیاز برای پیش‌گیری از آن از تولیدکننده تهیه شود.
- در مناطق گرمسیر عملکرد برخی تجهیزات مانند سیستم‌های خنک‌کننده تجهیزات دوار مختل می‌شود که باید برای پیش‌گیری از آن با تولیدکننده هماهنگی‌های لازم صورت پذیرد.
- در مناطق با گرد و غبار و ذرات معلق فراوان، سایش و خوردگی پره‌های توربین اتفاق می‌افتد که با همکاری تولیدکننده باید برای آن تمهیداتی اندیشیده شود.
- در مناطق با آشفته‌گی زیاد باد، با هماهنگی تولیدکننده باید توربین‌های متناسب نصب شود.
- سروصدای توربین بادی نباید از ۵۵ دسی‌بل بیشتر شود.
- طول عمر توربین‌های بادی به طور معمول ۲۰ سال است.
- در تحلیل اقتصادی استفاده از IRR به جای دوره بازگشت سرمایه به نتایج قابل قبول‌تری می‌انجامد.
- در انتخاب کلیه تجهیزات و نصب و راه‌اندازی آن‌ها استفاده از استانداردهای بین‌المللی همانند IEC، VDE و ISO توصیه می‌شود.
- وجود ارزیابی فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اتصال به شبکه (حسب مورد) برای نصب و راه‌اندازی سیستم الزامی است.
- تأییدیه آزمایشگاه‌های مرجع در زمینه ایمنی الکتریکی و حریق تجهیزات برای نصب و راه‌اندازی سیستم مورد نیاز است.
- برای اتصال به شبکه برق باید در هماهنگی با توزیع‌کننده محلی، قواعد کد اتصال به شبکه ملی یا محلی رعایت شود.
- در سیستم‌های منفصل از شبکه باید سازگاری ولتاژ و فرکانس برق بادی تولیدی با مقادیر مورد نیاز تجهیزات و دستگاه‌ها برقرار شود.
- کاتالوگ و مشخصات فنی پنل پیشنهادی، می‌بایست شامل موارد زیر باشد.

➤ مشخصات توربین بادی:

ردیف	نوع	توضیحات
۱	کشور سازنده	ساخت داخل یا خارج از کشور
۲	توان نامی	کمتر از ۱۰۰ کیلووات
۳	سرعت آغاز	سرعت شروع به تولید سیستم بر حسب متر بر ثانیه
۴	سرعت نامی	سرعت تولید در سطح توان نامی بر حسب متر بر ثانیه
۵	سرعت توقف	سرعت توقف تولید سیستم بر حسب متر بر ثانیه
۶	قطر روتور	قطر روتور بر حسب متر
۷	ارتفاع هاب	ارتفاع یا ارتفاع‌های هاب در نظر گرفته شده بر حسب متر
۸	نوع برج	لوله‌ای، خرابایی و tilt down
۹	ژنراتور	مشخصات ژنراتور از قبیل تعداد فاز و ولتاژ و ...
۱۰	دمای عملکرد	محدوده عملکردی توربین بادی از منظر دمایی بر حسب درجه سانتی-گراد
۱۱	ولتاژ نامی	ولتاژ خروجی سیستم بر حسب ولت یا کیلو ولت
۱۲	فرکانس	فرکانس خروجی سیستم بر حسب هرتز (۵۰ هرتز برای اتصا به شبکه)
۱۳	حداکثر سرعت باد	حداکثر سرعت باد قابل تحمل بر حسب متر بر ثانیه
۱۴	تعداد پره	۳ یا ۵ پره
۱۵	جنس پره	نوع ماده مرکب
۱۶	وزن ناسل	وزن ناسل بر حسب کیلوگرم
۱۷	ابعاد ناسل	ابعاد ناسل بر حسب متر یا سانتی متر برای بحث انتقال و نصب
۱۸	سیستم کنترل	سیستم Pitch و ...
۱۹	نمودار توان	نمودار توان توربین به صورت جدول و نمودار حتی‌الامکان در چگالی-های هوا و ارتفاع‌های هاب مختلف

## ۲) توربین بادی با ظرفیت بیش از ۱۰۰ کیلووات تا ۱ مگاوات با عنوان توربین بادی مقیاس تجاری

- توربین بادی محور افقی ۳ پره
- بهتر است توربین در بالادست موانع، ساختمان‌ها و درختان نصب شود.
- فاصله هر مانع از برج توربین بادی باید حداقل ۹۰ متر باشد.
- پایین‌ترین قسمت روتور (نوک پره وقتی در پایین‌ترین وضعیت ممکن در راستای عمودی قرار می‌گیرد باید ۹ متر بالاتر از بیشترین ارتفاع هر مانعی باشد.
- برج توربین‌های بادی می‌تواند خرپایی شکل یا لوله‌ای شکل باشد. اما به طور معمول لوله‌ای است.
- برج توربین‌های بادی می‌تواند به صورت خودایستا، مهارای یا tilt down سوار شود. در مورد برج‌های لوله‌ای راهکارهای دیگری هم وجود دارد.
- پی مورد نیاز برای برپایی توربین بادی باید بر اساس دستورالعمل تولیدکننده اجرا گردد.
- سیستم زمین نیز باید با توجه به دستورالعمل تولیدکننده اجرا شود.
- ارتفاع برج توربین‌ها با توجه به ظرفیت نامی آن متغیر اما برای این بازه از ظرفیت، به طور معمول بین ۳۵ تا ۵۵ متر است.
- ارتفاع برج توسط تولیدکننده تعیین شده و می‌تواند با اعداد فوق فرق نماید. این اعداد تنها برای برآوردی از ارتفاع برج مورد نیاز ارائه گردیده‌اند.
- تجهیزات اصلی مورد استفاده با توجه به شیوه کاربرد متفاوت خواهد بود :
  - تجهیزات مورد نیاز در سیستم‌های متصل به شبکه : کنترل‌کننده توربین بادی، اینورتر، سیم‌کشی، سیستم پایش
  - کنترل‌کننده‌های توربین بادی، اینورترها و سایر تجهیزات الکتریکی استفاده شده باید از آزمایشگاه‌های معتبر تأییدیه داشته باشند.
- تولیدکننده باید دستورالعمل نصب، راه‌اندازی، بازرسی و تعمیر و نگهداری را در اختیار مشتری قرار دهد.
- بازرسی‌های دوره‌ای و پیشگیرانه از کلیه تجهیزات باید بر اساس دستورالعمل تولیدکننده صورت پذیرد.
- ارزیابی منابع باد با استفاده از نصب ایستگاه ثبت اتوماتیک آمار باد و تحلیل داده‌های برداشت شده صورت پذیرد که موارد زیر باید در آن رعایت شود :
  - ارتفاع دکل ایستگاه ثبت اتوماتیک آمار باد باید با ارتفاع هاب توربین بادی برابر بوده یا اختلاف چندانی نداشته باشد.
  - نصب ۳ سنسور سنجش سرعت، ۲ سنسور سنجش جهت، ۱ سنسور سنجش حرارت، ۱ سنسور سنجش رطوبت، ۱ سنسور سنجش فشار و ۱ سنسور سنجش تابش پیشنهاد می‌شود.
  - کلیه سنسورها باید کالیبره شده باشند و در مورد سنسور سرعت کالیبراسیون بر اساس استاندارد Measnet صورت پذیرد.
  - مدارک کالیبراسیون کلیه سنسورها به همراه ضرایب مربوطه باید در هنگام تأمین تجهیزات تحویل شود.
  - برآورد برق بادی قابل تولید باید پس از اعمال ضرایب کالیبراسیون بر روی داده‌ها و اعتبارسنجی آن‌ها صورت پذیرد.
  - مقادیر سرعت متوسط سالیانه باد و جهت باد غالب باید در تحلیل‌ها برای سنجش اولیه پتانسیل انرژی بادی تعیین شوند.
  - داده‌برداری باید حداقل یک‌سال را پوشش دهد.
  - قطعی داده‌ها در مجموع نباید بیش از ۲ ماه بوده و به صورت مستمر نیز از ۲ هفته بیشتر نباشد.

- درصد بازیابی داده‌ها (نسبت تعداد داده‌های درست به کل داده‌ها بر حسب درصد) باید بیش از ۹۰ درصد باشد.
- نمودارهای گلباد، هیستوگرام، ویبول، پروفیل مقطع عرضی باد (برش باد) و مقادیر چگالی و چگالی توان بادی در ارتفاع‌های مختلف جهت سنجش پتانسیل منطقه باید برآورد شود.
- استفاده عملی از توربین بادی مقیاس تجاری به حداقل میانگین سالیانه سرعت باد برابر با ۶ متر بر ثانیه نیازمند است.
- کلاس توربین بادی برای هر منطقه با توجه به سرعت میانگین سالیانه باد تعیین می‌گردد:
  - از سرعت ۶ متر بر ثانیه تا ۷.۵ متر بر ثانیه کلاس III نامیده می‌شود.
  - از سرعت ۷.۵ متر بر ثانیه تا سرعت ۸.۵ متر بر ثانیه کلاس II نامیده می‌شود.
  - از سرعت ۸.۵ متر بر ثانیه تا ۱۰ متر بر ثانیه و بالاتر کلاس I نامیده می‌شود.
- توربین‌های بادی در کلاس‌های فوق طراحی شده و برای هر منطقه باید توربین بادی با کلاس متناسب را انتخاب نمود.
- کلاس آشفستگی بر اساس شدت آشفستگی میانگین در سرعت ۱۵ متر بر ثانیه تعیین می‌گردد:
  - شدت آشفستگی میانگین کمتر از ۰.۱۲ برابر با کلاس C نامیده می‌شود.
  - شدت آشفستگی میانگین بیش از ۰.۱۲ تا ۰.۱۴ برابر با کلاس B نامیده می‌شود.
  - شدت آشفستگی میانگین بیش از ۰.۱۴ تا ۰.۱۶ و بالاتر برابر با کلاس A نامیده می‌شود.
- در صورتی که مشخصات رژیم باد منطقه با موارد فوق‌الذکر تفاوت بسایر زیادی داشته باشد، توربین بادی در کلاس S قرار داشته و تولیدکننده باید با توجه به رژیم باد، توربین متناسب را تأمین نماید.
- در هنگام تأمین تجهیزات باید به شرایط اقلیمی و جوی منطقه توجه داشت :
  - در مناطق با عوارض پیچیده، آشفستگی بر طول عمر توربین بادی تأثیر منفی می‌گذارد که باید در محاسبات لحاظ شود.
  - در مناطق سردسیر امکان یخ‌زدگی تجهیزات وجود دارد که باید تجهیزات موردنیاز برای پیش‌گیری از آن از تولیدکننده تهیه شود.
  - در مناطق گرمسیر عملکرد برخی تجهیزات مانند سنسورهای دمای محیطی و سیستم‌های خنک کننده روغن‌های هیدرولیکی مختل می‌شود که باید برای پیش‌گیری از آن با تولیدکننده هماهنگی‌های لازم صورت پذیرد.
- در مناطق با گرد و غبار و ذرات معلق فراوان، سایش و خوردگی پره‌های توربین اتفاق می‌افتد که با همکاری تولیدکننده باید برای آن تمهیداتی اندیشیده شود.
- سروصدای توربین بادی نباید از ۵۵ دسی‌بل بیشتر شود.
- طول عمر توربین‌های بادی به طور معمول ۲۰ سال است.
- در تحلیل اقتصادی استفاده از IRR به جای دوره بازگشت سرمایه به نتایج قابل قبول تری می‌انجامد.
- در انتخاب کلیه تجهیزات و نصب و راه‌اندازی آن‌ها استفاده از استانداردهای بین‌المللی همانند IEC، VDE و ISO توصیه می‌شود.
- وجود ارزیابی فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اتصال به شبکه (حسب مورد) برای نصب و راه‌اندازی سیستم الزامی است.
- تأییدیه آزمایشگاه‌های مرجع در زمینه ایمنی الکتریکی و حریق تجهیزات برای نصب و راه‌اندازی سیستم مورد نیاز است.
- برای اتصال به شبکه برق باید در هماهنگی با توزیع‌کننده محلی، قواعد کد اتصال به شبکه ملی یا محلی رعایت شود.
- در سیستم‌های منفصل از شبکه باید سازگاری ولتاژ و فرکانس برق بادی تولیدی با مقادیر مورد نیاز تجهیزات و دستگاه‌ها برقرار شود.
- کاتالوگ و مشخصات فنی پنل پیشنهادی، می‌بایست شامل موارد زیر باشد.

➤ مشخصات توربین بادی:

ردیف	نوع	توضیحات
۱	کشور سازنده	ساخت داخل یا خارج از کشور
۲	توان نامی	بیش از ۱۰۰ کیلووات تا ۱ مگاوات
۳	سرعت آغاز	سرعت شروع به تولید سیستم بر حسب متر بر ثانیه
۴	سرعت نامی	سرعت تولید در سطح توان نامی بر حسب متر بر ثانیه
۵	سرعت توقف	سرعت توقف تولید سیستم بر حسب متر بر ثانیه
۶	قطر روتور	قطر روتور بر حسب متر
۷	ارتفاع هاب	ارتفاع یا ارتفاع‌های هاب در نظر گرفته شده بر حسب متر
۸	نوع برج	لوله‌ای، خرپایی و tilt down
۹	ژنراتور	مشخصات ژنراتور از قبیل تعداد فاز و ولتاژ و ...
۱۰	دمای عملکرد	محدوده عملکردی توربین بادی از منظر دمایی بر حسب درجه سانتی-گراد
۱۱	ولتاژ نامی	ولتاژ خروجی سیستم بر حسب ولت یا کیلو ولت
۱۲	فرکانس	فرکانس خروجی سیستم بر حسب هرتز (۵۰ هرتز برای اتصا به شبکه)
۱۳	حداکثر سرعت باد	حداکثر سرعت باد قابل تحمل بر حسب متر بر ثانیه
۱۴	تعداد پره	۳ پره
۱۵	جنس پره	نوع ماده مرکب
۱۶	وزن ناسل	وزن ناسل بر حسب کیلوگرم
۱۷	ابعاد ناسل	ابعاد ناسل بر حسب متر یا سانتی متر برای بحث انتقال و نصب
۱۸	سیستم کنترل	سیستم Pitch و ...
۱۹	نمودار توان	نمودار توان توربین به صورت جدول و نمودار حتی‌الامکان در چگالی-های هوا و ارتفاع‌های هاب مختلف
۲۰	سیستم انتقال قدرت	با گیربکس یا بدون آن
۲۱	کلاس توربین بادی و کلاس آشفستگی	بر اساس استاندارد IEC