

آشنایی با

نیروگاه های برق بادی

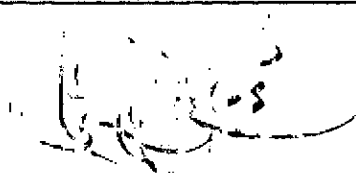
www.ketab.ir

جمیل، مجید
آشنایی با توربین‌های بادی / مترجمین مجید جمیل، پیام صبایی فرد - تهران: کتاب
آشنا، ۱۳۹۱.
۱۳۶ ص.

ISBN: ۹۷۸-۹۶۴-۲۹۴۳-۰۶-۷

۷۲۰۰۰ ریال
فهرست نویسی براساس اطلاعات فیبا:
کتاب‌نامه: ص.
۱. انرژی بادی.
۳. برق - - تولید.

۲. توربین‌های بادی
الف. صبایی فرد، پیام، مترجم. ب. عنوان.
TK۱۵۴۱/ج۸۸ ۱۳۹۱
۶۲۱/۴۵



آشنایی با نیروگاه‌های برفی بادی

ناشر: کتاب آشنا
مولفان: هرمان واگنر-جیوتیر مای ماتور
مترجمان: مجید جمیل - پیام صبایی فرد
ویراستار: سید محمد رضا ناجیان
چاپ: باران
نوبت و سال چاپ: اول / ۱۳۹۲
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت: ۷۲۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸۷-۹۶۴-۲۹۴۳-۰۶-۷
ISBN 978-964-2943-06-7

تهران/ میدان انقلاب / خ کارگر جنوبی / خ وحید نظری / بن بست بختیاری

شماره ۱ ط ۳ تلفن: ۶۶۴۰۴۱۸۷ - ۰۹۱۲۸۸۸۲۸۹۷

پیش‌گفتار مؤلفین:

طی چند دهه گذشته، موضوع انرژی بادی بیشترین رشد را در بین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر داشته است. در بین متخصصین این زمینه اجماع نظر است که به منظور تضمین جایگاه انرژی‌های نو در آینده، انرژی بادی از نقشی بی‌بدیل برخوردار است.

کتاب حاضر با هدف تأمین نیازهای علاقه‌مندان به سامانه‌های انرژی بادی به تحریر در آمده است. بدین منظور، نویسندگان کتاب تلاش نموده‌اند تا با در نظر گرفتن نیاز مخاطب، مجموعه‌ای متعادل و کم حجم فراهم آورند. سه دلیل اصلی برای تألیف کتاب حاضر مدنظر بوده است:

۱- موضوع انرژی بادی انشعابی رشته‌ای بوده و نیاز به ارائه مطالب با زبان ساده و قابل فهم برای افراد رشته‌های دیگر که اشتیاقی به آن نداشته، وجود دارد.

۲- کتابی با این حجم مطالب، می‌تواند برای دانشجویان و محققین، بسیار کاربردی بوده و نیاز اصلی آنان را برطرف کند.

۳- از سوی دیگر صنعت‌گران و علاقه‌مندان به سرمایه‌گذاری در این زمینه می‌توانند اطلاعات اولیه لازم را از کتاب حاضر کسب نمایند.

دو فصل ابتدایی مجموعه تألیف شده، شامل اساس و مقدمات انرژی بادی است. در فصل سوم، فیزیک انرژی موجود در باد و تحلیل مکانیکی آن شرح داده شده و مطالبی مانند نحوه تبدیل انرژی از چرخش پره‌ها و عوامل تأثیرگذار در بازده این سامانه‌ها عنوان می‌شوند. فصل چهارم مروری بر اجزای توربین بادی و پیشرفت‌های حاصله در چند دهه گذشته در این توربین‌ها داشته و در فصل پنجم ملاحظات طراحی و مکان‌یابی مناسب توربین‌های بادی بررسی می‌شود. فصل ششم به کنترل و عملکرد توربین‌های بادی اختصاص داده شده و عوامل و روش‌های

مختلف بهینه‌سازی در عملکرد توربین‌ها بیان شده است. در فصل هفتم مباحث اقتصادی مرتبط با انرژی بادی ارائه می‌شود.

در کتاب حاضر تلاش شده است تا تمامی پیشرفت‌های فنی صنعت توربین‌های بادی تا سال ۲۰۱۱ مدنظر قرار گیرد.

مؤلفین از خانم هورچبرگر (Horzberger) و نیز از خانم کوئتر (Koetter) برای تایپ مطالب و بازبینی آنها سپاسگزاری و قدردانی می‌نمایند. هم چنین مؤلفین از پروفیسور بانسال (Bansal) و هانیچ (Hanich) برای پیشنهادات ارزنده و نیز از سازمان تبادل استاد و دانشجوی آلمان (DAAD) برای کمک‌های مالی تشکر می‌نمایند.

پیش گفتار مترجمین:

افزایش نگرانی از آلودگی محیط زیست و نیاز به تأمین برق بیشتر، متناسب با افزایش جمعیت و سطح رفاه اجتماعی، تامل به توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر را در تمامی کشورها و به ویژه در کشورهای صنعتی افزایش داده است. انرژی بادی به سبب توسعه قابل توجه و صرفه اقتصادی بیشتر نسبت به سایر انواع انرژی‌های تجدیدپذیر جایگاه مناسبی را در تأمین بخشی از انرژی الکتریکی جهان پیدا کرده است. نظر به رایگان بودن منبع انرژی بادی و پیشرفت‌های صنعتی حاصله طی ۴۰ سال گذشته بدون شک امروزه این انرژی کاملاً اقتصادی است و کشور ایران نیز از سال‌های ۱۳۷۰ به بعد توجه ویژه‌ای به صنعت انرژی بادی داشته است.

از آنجایی که تبدیل انرژی بادی موضوعی بین رشته‌ای است، در این کتاب به اختصار و در هشت فصل زمینه‌های مختلف مرتبط با این صنعت به منظور تولید برق و هدایت آن به شبکه سراسری آورده شده است. در فصول اول تا سوم انواع توربین‌های بادی، موضوعات مقدماتی مرتبط با این صنعت، ویژگی‌های فیزیکی باد و انرژی موجود در آن بحث و بررسی شده است. در فصول چهارم تا ششم ساختار توربین و طراحی و عملکرد آن مورد بحث قرار گرفته است. دو فصل آخر جنبه‌های اقتصادی و سیاست‌گذاری‌های لازم برای گسترش صنعت انرژی بادی را در بر می‌گیرد.

این کتاب برای عمومی علاقه‌مندان به صنعت انرژی بادی در کشور و مهندسين برق و مکانیک که تمایل به شروع کار در این زمینه را دارند، مرجع اولیه مناسبی می‌باشد. همچنین برای دانشجویان عزیز نیز که می‌خواهند مبانی اولیه صنعت برق بادی را فراگیرند، منبع مطالعاتی مناسبی بوده و به عنوان کتاب درسی توصیه می‌گردد.

لازم به ذکر است که واژه‌های مترادف فارسی برای برخی از اصطلاحات فنی، نظر به تجربه مترجمین در تدریس و پژوهش این زمینه طی بیست سال گذشته در پژوهشگاه مواد و انرژی و دیگر مراکز مختلف علمی و پژوهشی کشور انجام شده است و مناسب بودن و رواج آنها در محدوده زبان فارسی مورد نظر و توجه خاص بوده است.

کتاب حاضر طی ن سال دوم ۱۳۹۰ با تلاش مستمر مترجمین در محل شرکت یلدای سهند فراهم شده است که بدین وسیله از مدیر عامل شرکت، جناب آقای مهندس ناصر فتحی تشکر و قدردانی می‌شود. همچنین از انجمن علمی انرژی بادی ایران که نشر کتاب و بررسی علمی آن را تقبل نموده و نیز از همکار ارجمند جناب آقای دکتر سید مسعود مقدس تفرشی که با نظرات ارزشمند خود در بهبود محتوای ترجمه کتاب ما را یاری نمود، تشکر و قدردانی می‌شود.

از انتشارات کتاب آشنا که قبول زحمت نموده و نسبت به نشر کتاب با کیفیت مطلوب همت نموده است، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

امید است که مجموعه حاضر برای دانشجویان عزیز و صنعت برق بادی کشور، دانش‌مقدماتی را ارائه نموده و مورد استفاده باشد و چنانکه نواقصی نیز وجود دارد، یادآوری شود تا در چاپ‌های بعدی، این نواقص برطرف گردد.

تیر ۱۳۹۲

مجید جمیل

پیام صبایی فرد

(دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، تبدیل انرژی) (عضو هیئت علمی پژوهشگاه مواد و انرژی)

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه شهید بهشتی تهران

فهرست مطالب

پیش گفتار مؤلفین و مترجمین:..... ۵

فصل اول: وضعیت کنونی انرژی بادی..... ۱۷

۱-۱- آمار و تاریخچه..... ۱۷

۲-۱- مزایا و معایب سامانه‌های انرژی بادی..... ۲۰

۱-۲-۱- مزایا..... ۲۰

۲-۲-۱- معایب..... ۲۱

۳-۱- انواع توربین‌های بادی..... ۲۲

فصل دوم: منشأ باد و تأثیرات محیطی آن..... ۲۷

۱-۲- منشأ باد و فراوانی آن..... ۲۷

۲-۲- تأثیرات محیطی بر جریان باد..... ۲۸

۳-۲- مکان‌های مساعد برای استفاده از انرژی بادی..... ۳۱

۴-۲- عوامل اصلی حاکم بر جریان بادهای محلی..... ۳۲

۱-۴-۲- زبری سطح..... ۳۲

۲-۴-۲- تغییرات سرعت باد..... ۳۳

۳-۴-۲- آشفته‌گی جریان باد..... ۳۴

۴-۴-۲- موانع مسیر جریان باد..... ۳۴

۵-۴-۲- گردباد پشت توربین‌ها و تأثیرات آن در مزارع بادی..... ۳۶

۶-۴-۲- تأثیرات دالان‌ها و تپه‌ها در جریان باد..... ۳۸

۵-۲- مکان‌یابی برای نصب توربین‌های بادی..... ۳۹

- فصل سوم: فیزیک انرژی بادی..... ۴۱
- ۱-۳- انرژی موجود در باد..... ۴۱
- ۲-۳- تبدیل انرژی در پرها..... ۴۵
- ۳-۳- اصول طراحی و ضریب توان..... ۴۷
- ۱-۳-۳- ضریب توان (C_p) و قانون بتز (Betz' Law)..... ۴۷
- ۲-۳-۳- نسبت سرعت نوک پره..... ۴۸
- ۳-۳-۳- بازدهی توان..... ۴۹
- ۴-۳-۳- اصول طراحی..... ۵۱
- ۴-۳- وضعیت تغییرات باد..... ۵۱
- ۱-۴-۳- رابطه تغییرات سرعت باد با ارتفاع..... ۵۱
- ۲-۴-۳- توزیع ویبول..... ۵۴
- فصل چهارم: اجزای توربین بادی..... ۵۷
- ۱-۴- پره‌های توربین (روتور)..... ۵۷
- ۲-۴- سامانه چرخ‌دنده..... ۶۰
- ۳-۴- ژنراتورها..... ۶۱
- ۱-۳-۴- ولتاژ تولیدی..... ۶۱
- ۲-۳-۴- سامانه خنک‌کننده ژنراتور..... ۶۲
- ۳-۳-۴- سرعت دورانی ژنراتور..... ۶۲
- ۴-۳-۴- ژنراتورهای دو سرعت با قابلیت تغییر قطب..... ۶۵
- ۴-۴- برج و سازه توربین..... ۶۶
- ۵-۴- سایر اجزا..... ۶۸
- سازوکار جهت دهنده توربین بادی..... ۶۸
- ترمزها..... ۶۹
- محافظت از چرخش روتور با سرعت بیش از حد مجاز..... ۷۰

۷۰	اندازه گیری ارتعاشات:
۷۰	بادسنج:
۷۱	سامانه روغن کاری:
۷۱	پی سازی:
۷۴	سایر اجزا:

۷۵	فصل پنجم: ملاحظات طراحی
۷۵	۱-۵- سطح جاروب شده توربین
۷۵	۱-۱-۵- دلایل انتخاب توربین های بزرگ تر
۷۶	۲-۱-۵- دلایل انتخاب توربین های کوچک تر
۷۶	۲-۵- تعداد پرها
۷۸	۳-۵- توربین های محور افقی و محور قائم
۸۲	۴-۵- توربین های رو به باد نسبت به باد
۸۳	۵-۵- بارهای مکانیکی وارد بر توربین و تاثیر آن در انتخاب توربین مناسب
۸۴	۶-۵- توربین های دارای چرخ دنده و فاقد چرخ دنده
۸۸	۷-۵- ژنراتورهای سنکرون و آسنکرون و اتصال به شبکه برق
۹۴	۸-۵- سروصدای تولیدی توربین و کنترل آن

۹۷	فصل ششم: کنترل و عملکرد توربین های بادی
۹۷	۱-۶- منحنی توان و ضریب ظرفیت
۹۷	۱-۱-۶- منحنی توان
۹۹	۲-۱-۶- ضریب ظرفیت
۱۰۲	۲-۶- کنترل توان توربین های بادی
۱۰۳	۱-۲-۶- کنترل زاویه پره
۱۰۵	۲-۲-۶- کنترل استال
۱۰۷	۳-۲-۶- کنترل جهت قرارگیری توربین در مقابل باد

- ۱۰۸.....۳-۶- اتصال به شبکه برق
- ۱۰۹.....۳-۶-۱- کاربردهای مختلف توربین های بادی
- ۱۱۰.....۳-۶-۲- ولتاژ مورد نیاز
- ۱۱۳.....۳-۶-۳- مباحث ویژه در اتصال مزارع بادی فرا ساحلی به شبکه

فصل هفتم: مباحث اقتصادی و سیاست گذاری های لازم..... ۱۱۵

- ۱۱۵.....۷-۱- هزینه توربین های بادی
- ۱۱۵.....۷-۱-۱- سرمایه گذاری اولیه مورد نیاز برای تأمین توربین بادی
- ۱۱۶.....۷-۱-۲- هزینه های تعمیر و نگهداری توربین های بادی
- ۱۱۸.....۷-۲- تعرفه برق
- ۱۲۱.....۷-۳- روش های تأمین بودجه
- ۱۲۱.....۷-۳-۱- آسان اعتبار ظرفیت
- ۱۲۲.....۷-۳-۲- تخصیص اعتبار مژه صنایع دوستدار محیط زیست (CDM)
- ۱۲۳.....۷-۳-۳- معافیت های مالیاتی
- ۱۲۳.....۷-۴- اقتصاد انرژی بادی
- ۱۲۳.....۷-۴-۱- تحلیل اقتصادی - مورد مطالعاتی (کشور هند)
- ۱۲۶.....۷-۴-۲- بررسی وضعیت اقتصادی مزرعه بادی - مورد مطالعاتی (کشور آلمان)
- ۱۲۶.....۷-۵- توربین های بادی پس از پایان عمر مفید

فصل هشتم: دورنمای صنعت انرژی بادی..... ۱۲۷

- ۱۲۹.....منابع
- ۱۳۱.....نمایه

فهرست شکل‌ها

- شکل (۱-۱) - نمونه‌هایی از انواع مختلف توربین‌های بادی..... ۲۳
- شکل (۲-۱) - توربین بادی محور افقی سه پره ای..... ۲۵
- شکل (۱-۲) - نمونه‌ای از یک گلباد (میانگین سرعت سالانه وزش باد در تمامی جهات $4/3$ متر بر ثانیه است)..... ۳۰
- شکل (۲-۲) - تغییرات کوتاه مدت باد..... ۳۳
- شکل (۳-۲) - موانع در مسیر جریان باد..... ۳۶
- شکل (۴-۲) - فاصله بین توربین‌ها در یک مزرعه بادی بر حسب قطر روتور توربین..... ۳۷
- شکل (۱-۳) - تغییرات توان خروجی توربین با افزایش قطر و مساحت روتور..... ۴۲
- شکل (۲-۳) - رابطه بین سرعت و توان موجود در باد..... ۴۴
- شکل (۳-۳) - نیروهای وارده بر پره و سرعت‌های ایجاد شده..... ۴۵
- شکل (۴-۳) - تأثیرات نسبت سرعت نوک پره..... ۴۹
- شکل (۵-۳) - ارتباط بین ضریب توان و نسبت سرعت نوک پره..... ۵۰
- شکل (۶-۳) - تغییرات سرعت باد با ارتفاع..... ۵۲
- شکل (۷-۳) - تابع توزیع احتمال ویبول..... ۵۶
- شکل (۱-۴) - پره یک توربین بادی $1/5$ مگاواتی..... ۵۸
- شکل (۲-۴) - نمایی از پره یک توربین بادی..... ۵۸
- شکل (۳-۴) - انواع پی مورد استفاده در توربین‌های بادی فرا ساحلی..... ۷۲
- از چپ به راست: تک ستونی، سه گوش و پایه جک دار..... ۷۲

- شکل (۴-۴) - پی سه گوش ساخته شده برای نیروگاه بادی آلفا ونتوس در آلمان..... ۷۳
- شکل (۵-۴) - پی های سه ستونه و گرانشی برای توربین های بادی فراساحلی..... ۷۴
- شکل (۱-۵) - ضریب توان و نسبت سرعت نوک پره انواع مختلف توربین بادی (A- روتور ساونیوس، B- توربین پر پره، C- توربین ۴ پره ای، D- توربین ۳ پره ای، E- توربین ۲ پره ای)..... ۷۸
- شکل (۲-۵) - توربین بادی محور قائم داریوس به ظرفیت ۴/۲ مگاوات..... ۸۰
- شکل (۳-۵) - توربین بادی محور قائم H-روتور نصب شده در آلمان..... ۸۱
- شکل (۴-۵) - توربین های بادی رو به باد و پشت به باد..... ۸۳
- شکل (۵-۵) - اجزای توربین بادی دارای چرخ دنده..... ۸۵
- شکل (۶-۵) - تصویری از ناسل توربین بادی دارای چرخ دنده ساخت شرکت Nordex..... ۸۵
- شکل (۷-۵) - اجزای توربین دی فاقد چرخ دنده..... ۸۷
- شکل (۸-۵) - تغییرات سرعت چرخش بهینه روتور با سرعت باد برای دستیابی به بیشترین ضریب توان..... ۸۸
- شکل (۹-۵) - اتصال به شبکه ژنراتور سنکرون به سازه اینورتر کامل..... ۹۰
- شکل (۱۰-۵) - اتصال به شبکه ژنراتور آسنکرون..... ۹۲
- شکل (۱-۶) - نمونه ای از منحنی توان توربین بادی..... ۹۷
- شکل (۲-۶) - منحنی توان و انرژی موجود در باد یک توربین بادی..... ۱۰۲
- شکل (۳-۶) - پره با قابلیت تغییر زاویه..... ۱۰۳
- شکل (۴-۶) - مقایسه عملکرد توربین بادی در دو حالت پره ثابت و زاویه پره متغیر..... ۱۰۴
- شکل (۵-۶) - توزیع بار در یک نیروگاه بادی در آلمان..... ۱۱۲
- (از ژانویه تا مارس ۱۹۹۷ و از ژوئیه تا سپتامبر ۱۹۹۷)..... ۱۱۲

فهرست جداول

- جدول (۱-۱) - استفاده از انرژی بادی تا سال ۲۰۱۱..... ۱۹
- جدول (۱-۲) - جهات وزش باد غالب..... ۲۸
- جدول (۱-۳) - رده‌های زبری سطح و طول زبری..... ۵۳
- جدول (۱-۴) - سرعت‌های ژنراتور سنکرون بر حسب دور در دقیقه (rpm)..... ۶۲
- جدول (۱-۷) - تحلیل اقتصادی مورد مطالعاتی در کشور هند..... ۱۲۵
- جدول (۲-۷) - تحلیل هزینه‌ها و درآمدهای نیروگاه بادی در کشور هند..... ۱۲۵

www.ketab.ir