



مرجع کاربردی طراحی، بهره‌برداری
و نگهداری توربین‌های بادی



مؤلف:

اریش، هاو

مترجمان:

وحید عظیم‌زاده کلخوران

ابوذر ملکیان



سرشناسه:	هاو، اریش، ۱۹۴۱-م. (Hau, E.Erich)
عنوان و نام پدیدآور:	مرجع کاربردی طراحی، بهره‌برداری و نگهداری توربین‌های بادی [اریش هاو]/
مترجمان:	وحید عظیم‌زاده کلخوران، ابودر ملکیان.
مشخصات نشر:	تهران: نوآور، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری:	۵۲۸ ص.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۳۳۰-۵
وضعیت فهرست نویسی:	فیپا
یادداشت:	کتاب حاضر از متن انگلیسی تحت عنوان "Wind turbines : fundamentals, technologies, application, economics" به فارسی ترجمه شده است.
موضوع:	توربین‌های بادی
موضوع:	Wind turbines
موضوع:	انرژی بادی
موضوع:	Wind power
شناسه افزوده:	عظیم‌زاده، وحید، ۱۳۶۸ - مترجم
شناسه افزوده:	ملکیان، ابودر، ۱۳۶۱ - مترجم
رده بندی کنگره:	۱۳۹۵ ۹س۹ TJ۸۲۸/۵۲
رده بندی دیویی:	۳۱۲۱۳۶/۶۲۱
شماره کتابشناسی ملی:	۴۲۵۹۲۶۲

مرجع کاربردی طراحی، بهره‌برداری و نگهداری توربین‌های بادی



نشر نوآور

مؤلف: اریش هاو

مترجمان: وحید عظیم‌زاده کلخوران، ابودر ملکیان

ناشر: نوآور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

نوبت چاپ:

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۳۳۰-۵

قیمت:

مرکز پخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای
ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸
طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱، www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

اهداء به پيشگاه امام حسن مجتبی عليه اسلام

تقديم به:

پدر و مادرم، به خاطر زحمات بی دریغشان
و به: همسرم، پناه خستگیم و امید بودنم.

وحید عظیم زاده کلخوران

تقديم به:

پدر و مادر عزیزم به خاطر زحمات بی دریغشان
به همسر عزیزم که دنیای مرا متحول کرد
و نور دیده‌ام محمدحسین

ابوذر ملکیان

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

نشر نوآور ضمن ارج نهادن و قدردانی از اعتماد شما به کتاب‌های این انتشارات، به استحضارتان می‌رساند که همکاران این انتشارات، اعم از مؤلفان و مترجمان و کارگروه‌های مختلف آماده‌سازی و نشر کتاب، تمامی سعی و همت خود را برای ارائه کتابی درخور و شایسته شما فرهیخته گرامی به‌کار بسته‌اند و تلاش کرده‌اند که اثری را ارائه نمایند که از حداقل‌های استاندارد یک کتاب خوب، هم از نظر محتوایی و غنای علمی و فرهنگی و هم از نظر کیفیت شکلی و ساختاری آن، برخوردار باشد.

با این وجود، علی‌رغم تمامی تلاش‌های این انتشارات برای ارائه اثری با کمترین اشکال، باز هم احتمال بروز ایراد و اشکال در کار وجود دارد و هیچ اثری را نمی‌توان الزاماً مبرماً از نقص و اشکال دانست. از سوی دیگر، این انتشارات بنابه تعهدات حرفه‌ای و اخلاقی خود و نیز بنابه اعتقاد راسخ به حقوق مسلم خوانندگان گرامی، سعی دارد از هر طریق ممکن، به‌ویژه از طریق فراخوان به خوانندگان گرامی، از هرگونه اشکال احتمالی کتاب‌های منتشره خود آگاه شده و آن‌ها را در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی رفع نماید.

لذا در این راستا، از شما فرهیخته گرامی تقاضا داریم در صورتی که حین مطالعه کتاب با اشکالات، نواقص و یا ایرادهای شکلی یا محتوایی در آن برخورد نمودید، اگر اصلاحات را بر روی خود کتاب انجام داده‌اید پس از اتمام مطالعه، کتاب ویرایش‌شده خود را با هزینه انتشارات نوآور، پس از هماهنگی با انتشارات، ارسال نمایید، و نیز چنانچه اصلاحات خود را بر روی برگه جداگانه‌ای یادداشت نموده‌اید، لطف کرده عکس یا اسکن برگه مزبور را با ذکر نام و شماره تلفن تماس خود به ایمیل انتشارات نوآور ارسال نمایید، تا این موارد بررسی شده و در چاپ‌ها و ویرایش‌های بعدی کتاب اعمال و اصلاح گردد و باعث هرچه پربارتر شدن محتوای کتاب و ارتقاء سطح کیفی، شکلی و ساختاری آن گردد.

نشر نوآور، ضمن ابراز امتنان از این عمل متعهدانه و مسئولانه شما خواننده فرهیخته و گرانقدر، به‌منظور تقدیر و تشکر از این همدلی و همکاری علمی و فرهنگی، در صورتی که اصلاحات درست و بجا باشند، متناسب با میزان اصلاحات، به رسم ادب و قدرشناسی، نسخه دیگری از همان کتاب و یا چاپ اصلاح‌شده آن و نیز از سایر کتب منتشره خود را به‌عنوان هدیه، به انتخاب خودتان، برایتان ارسال می‌نماید، و در صورتی که اصلاحات تأثیرگذار باشند در مقدمه چاپ بعدی کتاب نیز از زحمات شما تقدیر می‌شود.

همچنین نشر نوآور و پدیدآورندگان کتاب، از هرگونه پیشنهادها، نظرات، انتقادات و راه‌کارهای شما عزیزان در راستای بهبود کتاب، و هرچه بهتر شدن سطح کیفی و علمی آن صمیمانه و مشتاقانه استقبال می‌نمایند.



تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

info@noavarpub.com

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱ مقدمه
- ۲-۱ پیشینه تاریخی
- ۳-۱ اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر
- ۴-۱ مسائل فنی
- ۵-۱ توسعه مزرعه بادی
- ۶-۱ مکانیابی توربین بادی
- ۷-۱ فن‌آوری‌های جدید و آینده
- ۸-۱ طرح کلی کتاب

فصل دوم: انرژی باد

- ۱-۲ مقدمه
- ۲-۲ انرژی یک جسم در حال حرکت
- ۳-۲ انرژی سیال در حال حرکت
- ۱-۳-۲ سیالات در حال حرکت در لوله
- ۲-۳-۲ سیال در حال حرکت بدون هیچ مرزی
- ۴-۲ توان باد
- ۵-۲ توان جذب شده توسط یک توربین
- ۶-۲ تغییرات سرعت باد
- ۱-۶-۲ تغییرات سرعت باد با زمان
- ۲-۶-۲ تغییرات سرعت باد با ارتفاع
- ۳-۶-۲ تغییرات سرعت باد با عوارض زمینی
- ۴-۶-۲ تغییرات سرعت باد با منطقه جغرافیایی

فصل سوم: اصول پایه

- ۱-۳ مقدمه
- ۲-۳ نیروی باد
- ۳-۳ نیروی آپرودینامیک
- ۴-۳ ضرایب لیفت و درگ
- ۵-۳ ایرفویل‌ها

فصل چهارم: انواع توربین بادی: تجزیه و تحلیل و مشخصات

- ۱-۴ مقدمه
- ۲-۴ دسته‌بندی توربین‌ها
- ۳-۴ توربین بادی پروانه‌ای
- ۱-۳-۴ پره‌های توربین بادی پروانه‌ای و نیروی باد
- ۲-۳-۴ پیچش پره
- ۳-۳-۴ انحراف به سمت باد و خلاف جهت باد
- ۴-۴ H - روتور
- ۵-۴ توربین داریوس
- ۶-۴ روتور ساونیوس

فصل پنجم: توربین بادی سه‌پره‌ای نوع پروانه‌ای و اجزای آن

- ۱-۵ مقدمه

۲-۵ اجزای مکانیکی

۱-۲-۵ برج

۲-۲-۵ فونداسیون

۳-۲-۵ روتور (پره‌ها و هاب)

۱-۳-۲-۵ هاب روتور فولادی ریخته‌گری شده برای روتورهای سه‌پره

۲-۳-۲-۵ مفاهیم هاب روتور برای روتورهای دو پره

۴-۲-۵ ناسل

۱-۴-۲-۵ رویه طراحی و مفهوم حمل بار

۲-۴-۲-۵ شکل خارجی - جنبه‌های زیبایی‌شناسی

۵-۲-۵ گیربکس

۶-۲-۵ ترمز توربین

۳-۵ اجزای الکتریکی

۱-۳-۵ ژنراتورها

۱-۱-۳-۵ نصب ژنراتور الکتریکی

۲-۳-۵ ترانسفورماتورها

۳-۳-۵ مکانیزم گام پره

۱-۳-۳-۵ یاتاقان‌های پره روتور

۲-۳-۳-۵ سیستم‌های گام پره هیدرولیکی

۳-۳-۳-۵ سیستم‌های گام پره الکتریکی

۴-۳-۳-۵ سیستم گام پره غیرفعال

۴-۵ سایر اجزا

فصل ششم: تعیین توان در توربین بادی نوع پروانه‌ای

۱-۶ مقدمه

۲-۶ توان مکانیکی

۱-۲-۶ توان در حرکت خطی

۲-۲-۶ توان در حرکت دورانی

۳-۶ نمودارها

۱-۳-۶ مثال اول

۲-۳-۶ مثال دوم

۴-۶ توان مکانیکی در یک توربین

۱-۴-۶ اثر تغییر سرعت زاویه‌ای و نسبت سرعت نوک پره در یک توربین

۲-۴-۶ اثر تغییر زاویه گام پره

۵-۶ تغییر توان توربین با سرعت زاویه‌ای

۶-۶ تولید روزانه انرژی توسط یک توربین

۱-۶-۶ بیان مسئله

۲-۶-۶ پاسخ

۳-۶-۶ توربین‌های با زاویه گام متغیر

۷-۶ تولید انرژی سالانه

فصل هفتم: الکتریسیته و تولید برق از انرژی باد

۱-۷ مقدمه

۲-۷ جریان AC و DC

- ۳-۷ پارامترهای الکتریکی
- ۱-۳-۷ جریان الکتریکی، جهت جریان و فرکانس
- ۲-۳-۷ ولتاژ و توان
- ۴-۷ ماشین‌های الکتریکی
- ۱-۴-۷ موتورهای الکتریکی
- ۲-۴-۷ ژنراتورهای الکتریکی
- ۵-۷ ماشین‌های DC
- ۱-۵-۷ نکات عمومی
- ۲-۵-۷ نکات عملی در ارتباط با ماشین‌های DC
- ۶-۷ ماشین‌های AC
- ۱-۶-۷ نکات عمومی
- ۲-۶-۷ نکات عملی در ارتباط با ماشین‌های AC
- ۷-۷ منبع و بار در مدارهای الکتریکی
- ۱-۷-۷ اتصال بارها به یک منبع
- ۲-۷-۷ اتصال ژنراتورها به یکدیگر
- ۳-۷-۷ اتصال توربین‌های بادی به یکدیگر

فصل هشتم: اتصال به شبکه

- ۱-۸ مقدمه
- ۲-۸ توان الکتریکی
- ۱-۲-۸ توان در جریان الکتریکی DC
- ۲-۲-۸ توان در جریان الکتریکی AC
- ۱-۲-۲-۸ بارهای خازنی و القایی و زاویه فاز
- ۲-۲-۲-۸ توان فعال، توان واکنشی و توان ظاهری
- ۳-۲-۲-۸ توان در جریان الکتریکی AC سه‌فاز
- ۳-۸ الزامات شبکه
- ۴-۸ هماهنگی و کیفیت توان
- ۵-۸ توربین بادی به عنوان یک ژنراتور مجزا
- ۶-۸ جزیره‌ای شدن

فصل نهم: استفاده از گیربکس و چرخ‌دنده‌ها در توربین بادی

- ۱-۹ مقدمه
- ۲-۹ اصول مقدماتی گیربکس
- ۱-۲-۹ انواع چرخ‌دنده بر اساس محور چرخ‌دنده
- ۲-۲-۹ انواع چرخ‌دنده‌ها بر اساس شکل دندانه
- ۳-۲-۹ دیگر انواع چرخ‌دنده‌ها
- ۴-۲-۹ چرخ‌دنده‌های سیاره‌ای
- ۳-۹ نسبت دنده
- ۱-۳-۹ نسبت دنده و نسبت سرعت در دو چرخ‌دنده
- ۲-۳-۹ نسبت دنده و نسبت سرعت در مجموعه‌های چرخ‌دنده‌ای
- ۳-۳-۹ نسبت سرعت در چرخ‌دنده‌های سیاره‌ای
- ۴-۹ روابط سرعت و گشتاور
- ۵-۹ نیروهای وارد بر چرخ‌دنده‌ها

۶-۹ اصطکاک و سایش

۷-۹ روانکاری و خنک‌کاری

۸-۹ بازده

۹-۹ پس‌زنی در چرخ‌دنده‌ها

۱۰-۹ مشکلات عمومی در چرخ‌دنده‌ها و شکست چرخ‌دنده

فصل دهم: کنترل توربین‌های بادی (بخش اول: قسمت‌های مکانیکی)

۱-۱۰ مقدمه

۲-۱۰ توان بر حسب سرعت باد

۳-۱۰ اندازه‌گیری سرعت باد

۴-۱۰ محاسبات توان

۵-۱۰ کیفیت توان خروجی و الزامات

۶-۱۰ کنترل گام پره

۷-۱۰ منحنی توان عملکرد توربین

۸-۱۰ کنترل انحراف

۹-۱۰ ترمز دستی

۱۰-۱۰ کنترل خطا

فصل یازدهم: کنترل توربین‌های بادی (بخش دوم: قسمت‌های برقی)

۱-۱۱ مقدمه

۲-۱۱ ژنراتورهای جریان مستقیم

۳-۱۱ ژنراتورهای سنکرون

۴-۱۱ ژنراتورهای آسنکرون یا القایی

۱-۴-۱۱ مشخصه‌های ژنراتورهای القایی

۲-۴-۱۱ ژنراتورهای القایی دوسوتغذیه

۵-۱۱ حالت‌های عملکردی توربین‌های بادی

۱-۵-۱۱ حالت تحریک مستقیم

۲-۵-۱۱ حالت سرعت ثابت

۳-۵-۱۱ حالت سرعت متغیر

۴-۵-۱۱ حالت ژنراتور قفس سنجابی

۵-۵-۱۱ حالت لغزش متغیر

۶-۵-۱۱ لغزش متغیر با ژنراتور القایی دوسوتغذیه

۶-۱۱ طرح‌های کنترل توربین‌های بادی

فصل دوازدهم: تجهیزات الکتریکی فرعی

۱-۱۲ مقدمه

۲-۱۲ ترانسفورماتورها

۱-۲-۱۲ رابطه ولتاژ

۲-۲-۱۲ رابطه جریان

۳-۲-۱۲ بازده ترانسفورماتور

۴-۲-۱۲ رده‌بندی توان ترانسفورماتور

۵-۲-۱۲ دیگر اطلاعات مفید درباره ترانسفورماتورها

۶-۲-۱۲ ترانسفورماتورهای سه‌فاز

۷-۲-۱۲ مثال‌ها

۳-۱۲ یکسوکننده‌ها

۴-۱۲ مبدل‌ها

۵-۱۲ بادسنج و بادنما

فصل سیزدهم: پره توربین بادی و انتخاب مواد

۱-۱۳ مقدمه

۲-۱۳ جنس مواد

۳-۱۳ بال‌های هواپیما به عنوان مدل

۴-۱۳ طراحی‌های تجربی پره‌های روتور در گذشته

۱-۴-۱۳ طراحی‌های پرچ شده از جنس آلومینیوم

۲-۴-۱۳ طراحی‌های از جنس فولاد

۳-۴-۱۳ ساختار سنتی با چوب

۵-۱۳ پره‌های مدرن کامپوزیتی تقویت‌شده با الیاف

۱-۵-۱۳ مواد کامپوزیت تقویت‌شده با الیاف و تکنیک‌های ساخت

۲-۵-۱۳ طراحی‌های پیشین از جنس کامپوزیت‌های تقویت‌شده با الیاف

۳-۵-۱۳ طراحی استاندارد کنونی

۴-۵-۱۳ کامپوزیت‌های چوب/اپوکسی

۶-۱۳ اتصال پره به هاب روتور

۷-۱۳ مقایسه طراحی‌های مختلف پره روتور

۸-۱۳ ترمزهای آیرودینامیک بر روی روتورهای دارای کنترل استال

۹-۱۳ محافظت در برابر صاعقه

۱۰-۱۳ هشدار در برابر یخ‌زدگی و یخ‌زدایی

فصل چهاردهم: برج توربین

۱-۱۴ مقدمه

۲-۱۴ پیکره‌بندی‌های برج

۳-۱۴ برج‌های خود ایستای ساخته شده از لوله‌های فولادی

۱-۳-۱۴ طراحی استحکام و سفتی

۲-۳-۱۴ تکنیک‌های تولید و ساخت

۳-۳-۱۴ تجهیزات صعود و تاسیسات داخلی

۴-۱۴ برج‌های مشبک

۵-۱۴ برج‌های بتنی

۶-۱۴ مقایسه مفاهیم برج‌های مختلف

۷-۱۴ فونداسیون

فصل پانزدهم: بارگذاری توربین

۱-۱۵ مقدمه

۲-۱۵ بارها در توربین بادی

۳-۱۵ منابع بارگذاری

۱-۳-۱۵ جریان هوای یکنواخت و حالت پایدار

۲-۳-۱۵ برش باد عمودی و باد جانبی

۳-۳-۱۵ تداخل برج

۴-۳-۱۵ اغتشاش باد و تندبادها

۵-۳-۱۵ بارهای گرانشی و اینرسی

- ۴-۱۵ فرضیات بار طراحی
 ۱-۴-۱۵ کلاس‌های توربین بادی
 ۲-۴-۱۵ شرایط باد نرمال
 ۳-۴-۱۵ شرایط باد شدید
 ۴-۴-۱۵ دیگر تأثیرات زیست‌محیطی
 ۵-۱۵ حالات بار
 ۱-۵-۱۵ عملکرد نرمال
 ۲-۵-۱۵ نقص‌های فنی
 ۶-۱۵ بارهای نهایی و بارگذاری خستگی
 ۱-۶-۱۵ بارهای نهایی
 ۲-۶-۱۵ طیف بار خستگی
 ۷-۱۵ محاسبات بارهای خستگی و تنش‌های سازه‌ای
 ۱-۷-۱۵ مدل‌های ریاضی و روش محاسبه
 ۲-۷-۱۵ پاسخ دینامیکی سازه و استحکام خستگی
 ۸-۱۵ تأثیر مشخصه‌های طراحی مفهومی بر بارگذاری
 ۱-۸-۱۵ تعداد پره‌های روتور
 ۲-۸-۱۵ لولاهای هاب روتور در روتور دو پره
 ۳-۸-۱۵ کنترل گام پره
 ۴-۸-۱۵ لغزش سرعت روتور و عملکرد سرعت-متغیر
 ۹-۱۵ داده‌های آزمون و تجهیزات تست
 ۱-۹-۱۵ آزمایش‌های بستر آزمون
 ۲-۹-۱۵ سیستم‌های اکتساب داده‌ها و اندازه‌گیری‌های میدانی
 ۱۰-۱۵ استانداردها و گواهینامه توربین‌های بادی
 ۱-۱۰-۱۵ استانداردهای مهم بین‌المللی و ملی طراحی
 ۲-۱۰-۱۵ صدور گواهینامه برای توربین‌های بادی
- فصل شانزدهم: مسائل ارتعاشی**
- ۱-۱۶ مقدمه
 ۲-۱۶ پایداری آیروالاستیک پره‌های روتور
 ۳-۱۶ ارتعاش پیچشی مجموعه محرک
 ۱-۳-۱۶ مدل ریاضی
 ۲-۳-۱۶ مدل‌های مکانیکی برای کوپلینگ شبکه الکتریکی
 ۳-۳-۱۶ فرکانس‌های طبیعی و مودهای ارتعاشی
 ۴-۳-۱۶ تحریک‌ها و تشدیدها
 ۴-۱۶ دینامیک سیستم یاو
 ۱-۴-۱۶ مدلسازی و ممان‌های حول محور یاو
 ۲-۴-۱۶ تحریک و تشدیدها
 ۵-۱۶ ارتعاشات کل توربین بادی
 ۱-۵-۱۶ سفتی برج
 ۲-۵-۱۶ مشخصات ارتعاشی توربین‌های بادی موجود
 ۳-۵-۱۶ شبیه‌سازی ریاضی

فصل هفدهم: توربین‌های بادی فراساحلی

۱-۱۷ مقدمه

۲-۱۷ انرژی بادی فراساحلی در دریای شمال و دریای بالتیک

۱-۲-۱۷ شرایط اقیانوس‌شناسی و منابع باد

۲-۲-۱۷ اولین پارک‌های بادی فراساحلی

۳-۲-۱۷ تاسیسات تجاری

۳-۱۷ رویه صدور مجوز

۱-۳-۱۷ موقعیت قانونی

۲-۳-۱۷ معیارهای صدور مجوز

۴-۱۷ تکنولوژی استقرار سازه‌های فراساحلی

۱-۴-۱۷ الزامات فنی برای توربین‌های بادی

۲-۴-۱۷ فونداسیون بر روی کف دریا

۳-۴-۱۷ زیرساخت‌های الکتریکی

۴-۴-۱۷ حمل و نقل، نصب و تعمیر و نگهداری

فصل هجدهم: مسائل اقتصادی انرژی بادی

۱-۱۸ مقدمه

۲-۱۸ اصول اقتصادی

۳-۱۸ هزینه‌های اولیه پروژه توربین بادی

۱-۳-۱۸ هزینه توربین

۲-۳-۱۸ نصب

۳-۳-۱۸ حمل و نقل

۴-۳-۱۸ اتصال به شبکه

۵-۳-۱۸ هزینه‌های حقوقی و سایر هزینه‌ها

۴-۱۸ هزینه‌های عملیاتی

۱-۴-۱۸ هزینه‌های بهره‌برداری

۲-۴-۱۸ هزینه تعمیر و نگهداری

۵-۱۸ مقایسه با دیگر منابع انرژی

۶-۱۸ هزینه به ازای هر واحد

۷-۱۸ مطالعه موردی

فصل نوزدهم: مسائل زیست‌محیطی

۱-۱۹ مقدمه

۲-۱۹ مزارع بادی واقع در خشکی

۳-۱۹ سر و صدا

۴-۱۹ چشم‌انداز مناظر طبیعی

۱-۴-۱۹ درخشش و چشمک زدن

۵-۱۹ چشم‌انداز توربین‌ها

۶-۱۹ تاثیر بر روی پرندگان

۷-۱۹ تداخل فرکانس رادیویی و تاثیر بر روی ارتباطات

۸-۱۹ مزارع بادی فراساحلی

۹-۱۹ تاثیرات بر روی پرندگان و موجودات دریایی

فصل بیستم: نصب توربین بادی و بهره‌برداری از آن

- ۱-۲۰ مقدمه
- ۲-۲۰ توسعه پروژه
- ۳-۲۰ مشکلات حمل و نقل
- ۴-۲۰ نصب در سایت
- ۱-۴-۲۰ توربین‌های بادی کوچک و متوسط
- ۲-۴-۲۰ توربین‌های بادی بزرگ
- ۵-۲۰ اتصال به شبکه
- ۶-۲۰ راه‌اندازی

- ۷-۲۰ حالت عملیاتی و نظارت
- ۱-۷-۲۰ نظارت بر بهره‌برداری و عملکرد
- ۲-۷-۲۰ نظارت بر مزارع بادی بزرگ
- ۸-۲۰ تعمیر و نگهداری
- ۱-۸-۲۰ تعمیر و نگهداری جاری
- ۲-۸-۲۰ علل آسیب و ریسک تعمیرات

فصل بیست و یکم: ایمنی و مسائل دیگر

- ۱-۲۱ مقدمه
- ۲-۲۱ ایمنی و کار با توربین‌های بادی
- ۳-۲۱ ایمنی عملیاتی و استحکام ساختاری اجزای توربین
- ۱-۳-۲۱ استحکام ساختاری پره‌های روتور
- ۲-۳-۲۱ توقف روتور
- ۳-۳-۲۱ ناپایداری ارتعاشی
- ۴-۳-۲۱ ایمنی تجهیزات الکتریکی
- ۴-۲۱ تاثیرات دما و تغییرات محیط
- ۵-۲۱ محافظت در برابر صاعقه
- ۶-۲۱ تشکیل یخ بر روی پره‌ها
- ۷-۲۱ ترافیک هوایی
- ۸-۲۱ انرژی بادی در مناطق شهری
- ۱-۸-۲۱ ایمنی
- ۲-۸-۲۱ جنبه‌های زیست‌محیطی
- ۳-۸-۲۱ اقتصاد
- ۴-۸-۲۱ مسائل فنی و عملی

فصل بیست و دوم: کار بر روی توربین‌های بادی و ایمنی اپراتور

- ۱-۲۲ مقدمه
- ۲-۲۲ محیط کار
- ۳-۲۲ خطرات احتمالی
- ۴-۲۲ قوانین ایمنی عام
- ۵-۲۲ قوانین ایمنی استاندارد و مقررات رسمی
- ۶-۲۲ تجهیزات صعود
- ۷-۲۲ به حداقل رساندن خطر

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامه اجرایی آن مصوب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول، تصاویر این کتاب در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از کتاب به هر شکل از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از کتاب، تهیه پی‌دی‌اف از کتاب، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم، فایل صوتی یا تصویری و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع و غیرقانونی بوده و شرعاً نیز حرام است، و متخلفین تحت پیگرد قانونی و قضایی قرار می‌گیرند.

با توجه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به صورت فایل ورد یا پی‌دی‌اف و موارد این‌چنین، توسط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لذا در صورتی که هر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشر نوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسط کارشناسان امور اینترنتی این انتشارات، که مسئولیت اداره سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و در صورت مشخص شدن هرگونه تخلف، ضمن اینکه این کار از نظر قانونی غیرمجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشارات از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، پلیس فتا (پلیس رسیدگی به جرایم رایانه‌ای و اینترنتی) و نیز سایر مراجع قانونی، اقدام به مسدود نمودن سایت متخلف کرده و طی انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان را مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار داده و کلیه خسارات وارده به این انتشارات از متخلف اخذ می‌گردد.

همچنین در صورتی که هر کتابفروشی، اقدام به تهیه کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، آفست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نماید، ضمن اطلاع‌رسانی تخلفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مؤزّعین محترم، از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، اتحادیه ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجع قانونی و قضایی اقدام به استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلف می‌نماید.

خرید، فروش، تهیه، استفاده و مطالعه از روی نسخه غیراصل کتاب،

از نظر قانونی غیرمجاز و شرعاً نیز حرام است.

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهده هر گونه تخلف از قبیل موارد فوق، مراتب را یا از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره‌های ۰۲-۶۶۴۸۴۱۹۱ و ۰۲۱-۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل انتشارات به آدرس info@noavarpub.com و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت www.noavarpub.com به این انتشارات ابلاغ نمایند، تا از تضییع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به عمل آید، و نیز به‌عنوان تشکر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.

فصل اول

مقدمه



پس از مطالعه این فصل، باید قادر باشید:

- در مورد انرژی باد تخصصی تر صحبت کنید.
- از اصطلاحات فنی مختلف با اطمینان استفاده کنید.
- دلیل اهمیت بالای انرژی‌های تجدیدپذیر را شرح دهید.
- از روند پیشرفت تکنولوژی توربین بادی در ۳۰ سال گذشته آگاه گردید.
- در مورد مزارع بادی و اینکه چه هستند، صحبت کنید.
- توضیح دهید که چرا نمی‌توان تنها بر اساس یک مشاهده در مورد کیفیت باد قضاوت نمود.
- شرح دهید که چرا باد خوب برای توسعه یک مزرعه بادی کافی نیست.
- درک کنید که آب و هوای طوفانی برای یک توربین بادی خوب نبوده، و به معنای انرژی بیشتری نیست.

۱-۱ مقدمه

توربین‌های بادی امروزی در مقایسه با توربین‌های حتی یک دهه قبل، بسیار بزرگ‌تر می‌باشند و

روند حاکم به سمت تولید ماشین‌هایی هنوز هم بزرگتر می‌باشد. اگرچه ممکن است این چنین به نظر نرسد، ولی توربین‌های بادی ماشین‌های پیچیده‌ای از لحاظ کنترل می‌باشند، به خصوص اگر نیاز به کارایی بالا و بازده مناسب باشد. عملکرد ایمن و بالای این ماشین‌ها تنها از طریق پیشرفت‌های فن‌آوری در سیستم‌های کنترل، الکترونیک، ارتباطات و غیره و ادغام آنها با قوانین مکانیکی حاکم بر رفتار این ماشین‌ها امکان‌پذیر است.

درک قوانین طبیعت و رفتار یک توربین بادی و شیوه کنترل عملکرد آن به صورت مطلوب، "تکنولوژی توربین بادی" نامیده می‌شود. درک چگونگی عملکرد توربین‌های بادی، کار کردن با آنها و انجام تحقیقات و توسعه بیشتر در زمینه کارکرد آنها، مستلزم داشتن آگاهی در زمینه انواع مختلف دانش تخصصی می‌باشد.

مطالب مربوط به توربین‌های بادی بسیار گسترده می‌باشد. در طول ۳۰ سال گذشته تحقیقات گسترده‌ای بر روی موضوعات مرتبط انجام شده است که گنجاندن تمامی آنها در یک کتاب امکان‌پذیر نمی‌باشد. با این حال همانطور که انتظار می‌رود، هر کتاب با در نظر داشتن یک هدف خاص نوشته شده و گروه معینی از خوانندگان را مخاطب قرار می‌دهد. مخاطب این کتاب، دانشجویان رشته‌های مهندسی با معلومات قبلی کم و یا هیچ‌گونه پیش‌زمینه‌ای در برخی موضوعات مرتبط ضروری، می‌باشند. این کتاب همچنین برای متخصصان زمینه توربین‌های بادی نیز مفید می‌باشد.

۲-۱ پیشینه تاریخی

باد و آب برای مدت‌های طولانی به عنوان دو منبع اصلی انرژی برای بشر بوده است. آسیاب‌های آبی و بادی برای کاربردهایی مانند آسیاب کردن گندم و آبیاری بکار گرفته می‌شدند. پیش از اختراع موتور بخار و تبدیل انرژی حاصل از سوزاندن زغال‌سنگ و بعدها نفت، انرژی باد احتمالاً تنها راه ممکن برای انجام حمل و نقل دریایی طولانی بوده است.

گزارش‌های قدیمی و ویرانه‌های باقیمانده از آسیاب‌های بادی با محور عمودی^۱ (محور چرخش آن به صورت عمودی است) در ایران، پیشینه‌ای ۱۰۰۰ ساله دارد. آسیاب بادی هلندی معروف، با محور افقی^۲ (محور چرخش آن افقی است)، از قرن دوازدهم وجود داشته است.

دوره جدید توجه به توربین‌های بادی برای تولید برق، از سال ۱۹۷۰ آغاز شد. بحران نفت در سال ۱۹۷۲ عامل محرک بسیار خوبی بود. کشورهای اروپایی بیش از سایر کشورها تحت تاثیر واقع شده و توجه کاملی به این منبع انرژی تجدیدپذیر معطوف ساختند. تا سال ۱۹۹۲، توربین‌های بادی تجاری بسیار کوچکتر (۲۲۵ کیلووات) بودند، اما در نتیجه پیشرفت فن‌آوری، در پایان سال ۲۰۰۲ اندازه توربین‌ها تا ۱۰ برابر رشد داشت. در کشورهای اروپایی مزارع بادی بیشتری چه در خشکی و چه به صورت فراساحلی^۳ رشد کرده، و در آمریکای شمالی انرژی‌های تجدیدپذیر دوباره مورد توجه قرار گرفتند.

۱. Vertical Axis
۲. Horizontal Axis
۳. Offshore

در سال ۲۰۰۵ با نصب و راه‌اندازی یک مزرعه بادی^۱ (تاسیسات تولید برق بادی که در آن توربین‌های بادی متعددی نصب شده است) با توان ۶۱۸۳ مگاوات، کمیسیون انرژی بادی اروپا ۵ سال زودتر از زمان موعود به هدف ۴۰۰۰۰ مگاوات برای سال ۲۰۱۰، دست یافت. در سال ۲۰۰۵، دانمارک ۲۰٪ از کل نیاز انرژی الکتریکی خود را از نیروی باد تامین نمود. بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸، صنعت تولید برق از انرژی باد در ایالات متحده، با نصب و راه‌اندازی واحدهای تولید برق با ظرفیت ۵۲۴۹ مگاوات در سال ۲۰۰۷ و ۸۵۰۰ مگاوات در سال ۲۰۰۸، رشدی در حدود ۲۹٪ در هر سال نشان داد. اگر چه صنعت، مانند دیگر بخش‌های بازار، در سال ۲۰۰۹ دستخوش مشکلاتی گردید، پیش‌بینی می‌گردد که تا سال ۲۰۳۰ نیروی باد بتواند ۲۰ درصد از برق ایالات متحده را تامین نماید.

بر طبق گزارش انجمن انرژی بادی اروپا (EWEA)، در سال ۲۰۰۹ در مجموع هشت مزرعه بادی جدید متشکل از ۱۹۹ توربین بادی فراساحلی، با ظرفیت تولید توان ترکیبی برابر با ۵۷۷ مگاوات به شبکه برق در اروپا متصل شدند.

۳-۱ اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر

در روزگاران بسیار دور هنگامیکه تعداد انسان‌ها کم بوده و نقل مکان آنها به اطراف زیاد نبود، آلودگی محدود بوده و سوزاندن چوب و زغال‌سنگ منجر به تغییرات قابل توجهی نمی‌گردید. علیرغم این عامل، جنگل‌ها در مناطق پرجمعیت‌تر به تدریج از بین رفته و امروزه جنگل‌های بیشتری هر ساله از بین می‌رود. علاوه بر آن، آلودگی ناشی از سوزاندن زغال‌سنگ، نفت و گاز برای گرمایش، حمل و نقل، و تولید به تدریج در حال از بین بردن محیط زیست، آلوده ساختن هوا و آب، بالا بردن دمای زمین و بر هم زدن سلامتی انسان‌ها می‌باشد. در صورت رشد آلودگی‌ها به صورتی مشابه ۵۰ سال اخیر، در نهایت بشر توسط این آلودگی‌ها خفه خواهد شد.

گیاهان، CO₂ را جذب و اکسیژن آزاد می‌کنند. بدین ترتیب است که طبیعت تمام CO₂ تولید شده توسط انسان‌ها و حیوانات، و سوزاندن چوب، زغال‌سنگ و بعداً نفت و گاز را متعادل می‌سازد. اما به تدریج گیاهان کمتر و کمتر و CO₂ و آلاینده‌های دیگر بیشتر و بیشتر شدند. این مسئولیت همه انسان‌ها می‌باشد که برای مراقبت از محیط زیست و به حداقل رساندن آلودگی بکوشند.

انرژی می‌تواند از زغال‌سنگ، نفت، و منابع دیگر بدست آید. اما مقادیر فراوانی از باد، نور خورشید و دیگر منابع طبیعی انرژی که منجر به آلودگی نمی‌شوند، در اختیار داریم. واحد اندازه‌گیری مصرف انرژی، کیلووات-ساعت (kW-hr) می‌باشد. یک کیلووات ساعت، مقدار انرژی است که یک لامپ جابجایی ۱۰۰ وات در ۱۰ ساعت مصرف می‌نماید. آلودگی ناشی از زغال‌سنگ، در قالب تولید CO₂، برابر با ۰/۷۱۲ کیلوگرم در هر کیلو وات-ساعت است. این بدان معنی است که انرژی مورد نیاز برای روشنایی یک لامپ ۱۰۰ وات برای تنها ۱۰ ساعت، در صورت تامین از یک نیروگاه زغال‌سنگی منجر به تولید ۰/۷۱۲ کیلوگرم CO₂ می‌گردد.

اهمیت انرژی‌های تجدیدپذیر بدیهی می‌باشد. این انرژی پاک بوده و سازگار با طبیعت می‌باشد و از

۱. Wind Farm

طبیعت و بدون آلوده ساختن آن بدست می‌آید. علاوه بر این، انرژی‌های تجدیدپذیر مانند باد و انرژی خورشیدی فراوان و رایگان می‌باشد و استفاده از آنها، یک انتخاب عاقلانه است.

۴-۱ مسائل فنی

گرچه باد یک منبع فراوان از انرژی است و همین امر در ارتباط با انرژی خورشیدی نیز صحیح می‌باشد، ولی باید این نکته را در نظر داشت که یک منبع مستمر با عرضه ثابت نیست. به عبارت دیگر نباید انتظار داشت (حداقل نه در حال حاضر) که بتوان برای نیازهای انرژی خود تنها بر باد تکیه داشت. هر انرژی تجدیدپذیر، علی‌رغم فراوانی، از دو مشکل عمده رنج می‌برد: مشکل اول پایین بودن سطح انرژی است و دوم اینکه به طور مداوم در دسترس نمی‌باشد. پایین بودن سطح انرژی بدین معنی است که نمی‌توان انتظار داشت یک توربین بادی با ظرفیتی مشابه یک نیروگاه حرارتی داشت. یک نیروگاه حرارتی (توربین‌های بخار و گاز) تنها با یک یا چند توربین می‌تواند دارای ظرفیت ۵۰۰ مگاوات یا بیشتر باشد؛ در حالیکه برای این ظرفیت ممکن است به حداقل ۲۰۰ توربین بادی در یک مزرعه بادی واقع در ساحل نیاز باشد. علاوه بر این، یک نیروگاه حرارتی ۵۰۰ مگاواتی به طور معمول قادر به ارائه این مقدار توان به صورت مستمر می‌باشد، در حالیکه خروجی یک توربین بادی به کیفیت باد بستگی داشته و ممکن است در طول سال نوسان کند.

هنگامیکه یک توربین بادی به عنوان ۲ مگاوات رده‌بندی می‌گردد، این مقدار حداکثر توانی است که در صورت در دسترس بودن باد کافی می‌تواند تحویل دهد. به دلیل ماهیت باد، و بسته به منطقه، نمی‌توان مقدار متوسط تحویلی بیش از حدود ۳۳٪ در طول یک دوره ۲۴ ساعته انتظار داشت، و ۳۳٪ برای بسیاری از مناطق، حداکثر مقدار است و ممکن است کمتر از این مقدار باشد. به طور متوسط، هر مگاوات انرژی بادی نصب شده می‌تواند انرژی ۳۰۰ خانه را تامین نماید.

علیرغم این نقاط ضعف، پیشرفت‌هایی که در استفاده از توربین‌های بادی حاصل گردیده است و همچنان در حال انجام می‌باشد، بسیار دلگرم‌کننده می‌باشد. در حال حاضر، توربین‌های بادی با ظرفیت ۲/۵ مگاوات برای کاربردهای واقع در ساحل و با ظرفیت ۴ مگاوات برای کاربردهای فراساحلی ساخته شده است. با مقایسه فن‌آوری در آمریکا شمالی از زمانی که توربین‌های بادی برای پمپاژ آب بکار گرفته می‌شدند (که در دهه ۱۹۳۰ ناپدید شد)، می‌توان مشاهده نمود که پیشرفت قابل توجهی هم در اندازه و هم شیوه کنترل این ماشین‌ها حاصل گردیده است. در شکل‌های ۱، ۱، ۱ و ۲، رشد در مقیاس یک نمونه آسیاب بادی آمریکایی معمولی با ۱۲ پره به یک توربین بادی مدرن سه‌پره‌ای با ظرفیت ۱/۶۵ مگاوات نشان داده شده است.

با این وجود، دو نقطه ضعف مذکور انرژی‌های تجدیدپذیر، مانع استفاده از باد به عنوان یک منبع ۱۰۰ درصدی انرژی الکتریکی در آینده نمی‌گردند. واقعیت این است که در حال حاضر هنوز فن‌آوری و امکانات لازم موجود نمی‌باشد. در یک کشور پهناور، هنگامیکه در یک منطقه باد نمی‌وزد، در منطقه دیگری باد می‌وزد. الزامی وجود ندارد که در یک کشور انرژی به صورت منطقه‌ای تولید شود، گرچه در این حالت از بازدهی بالاتری برخوردار می‌باشد.



شکل ۱-۱- آسیاب بادی آمریکایی (برج به ارتفاع ۱۲ متر)

پرسشی که مطرح می‌گردد این است که آیا انرژی باد کافی برای برآوردن تقاضا در دسترس می‌باشد. به عبارت دیگر، آیا باد کافی جهت برآوردن کل نیاز انرژی الکتریکی یک کشور وجود دارد؟ برای بسیاری از کشورها پاسخ مثبت است. به عنوان مثال، مناطق بادخیز در شمال کبک (Nunavik) دارای باد کافی برای تولید ۴۰ درصد از انرژی الکتریکی مصرفی کانادا می‌باشد. کانادا دارای مناطق بادخیز بسیار دیگری نیز می‌باشد، و لذا از ظرفیت بادی کافی برای تامین بخش قابل قبولی از نیاز برق ایالات متحده آمریکا نیز برخوردار می‌باشد. بدین ترتیب مشکل در باد نیست، بلکه در فقدان خطوط انتقال و فن‌آوری به منظور نظارت و کنترل جریان انرژی در یک سیستم توزیع شده بزرگ با پارامترهای متغیر می‌باشد.



شکل ۲-۱- یک توربین بادی مدرن ۱/۶۵ مگاواتی (برج به ارتفاع ۸۱ متر)