

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مهندسی انرژی باد

مؤلف

پرامد جین

ترجمان

دکتر امید بزرگ حداد

عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

هیلدا کشتی

کارشناس ارشد مهندسی منابع آب

دکتر محمدرضا جلالی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی



شماره مسلسل ۷۹۷۰

شماره انتشار ۳۵۰۴

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه
عنوان و نام پدیدآور
مشخصات نشر
شخصات ظاهری
گروست
شاب
سبیت فهرست‌نویسی
فایا
عنوان اصلی: Wind Energy Engineering
ادداشت
یادداشت
موضوع
شناسه دهه
شناسه اثر
شناسه افزودن
شناسه افزوده
رده‌بندی کنگره
رده‌بندی دیویی
شماره کتابشناسی ملی

جین، پرامد، ۱۹۶۳-م. Jain, Pramod.
مهندسی انرژی باد/ تألیف پرامد جین؛ ترجمه امید بزرگ‌حداد، هیلدا کشتکار، محمدرضا جلالی.
تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۲.
ک، ۴۰۱ ص: مصور، جدول، نمودار.
دانشگاه تهران: شماره انتشار ۳۵۰۴.
978-964-03-6613-4

فایا
عنوان اصلی: Wind Energy Engineering
ادداشت
یادداشت
موضوع
شناسه دهه
شناسه اثر
شناسه افزودن
شناسه افزوده
رده‌بندی کنگره
رده‌بندی دیویی
شماره کتابشناسی ملی

جین، پرامد، ۱۹۶۳-م. Jain, Pramod.
مهندسی انرژی باد/ تألیف پرامد جین؛ ترجمه امید بزرگ‌حداد، هیلدا کشتکار، محمدرضا جلالی.
تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۲.
ک، ۴۰۱ ص: مصور، جدول، نمودار.
دانشگاه تهران: شماره انتشار ۳۵۰۴.
978-964-03-6613-4

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مولفان، مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازی نویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌باشد.

BN:978-964-03-6613



9 789640 366134

عنوان: مهندسی انرژی باد
تألیف: پرامد جین
ترجمه: دکتر امید بزرگ‌حداد- مهندس هیلدا کشتکار- دکتر محمدرضا جلالی
نوبت چاپ: اول
تاریخ انتشار: ۱۳۹۲
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مترجمان است»
«کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است»
بها: ۲۰۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
http://press.ut.ac.ir - تارنما: press@ut.ac.ir
پست الکترونیک: ۸۸۰۱۲۰۷۸ تلفکس

فهرست مطالب

فصل اول: مروری بر تجارت انرژی باد

۱-۱- مقدمه	۱
۱-۲- تجارت انرژی بادی در سراسر جهان	۱
۱-۳- هزینه انرژی باد	۴
۱-۴- منافع انرژی باد	۵
۱-۵- انرژی بادی همیشه بهترین راه حل نیست	۷

فصل دوم: مفاهیم اساسی انرژی و توان بادی

۲-۱- مقدمه	۹
۲-۲- انرژی جنبشی بادی	۹
۲-۳- حساسیت توان به شعاع روتور و سرعت باد	۱۱
۲-۴- مفاهیم و روابط اساسی	۱۲
۲-۵- بقای جرم	۱۳
۲-۶- بقای انرژی	۱۴
۲-۷- بقای اندازه حرکت	۱۵
۲-۸- استخراج حدود بتر	۱۷
۲-۹- مفهوم حد یتز	۲۱
۲-۱۰- باد در مقابل آب	۲۴

فصل سوم: ویژگی‌های بلاق

۳-۱- مقدمه	۲۹
۳-۲- باد چگونه تشکیل می‌شود؟	۲۹
۳-۳- توزیع آماری سرعت باد	۳۱
۳-۳-۱- میانگین و نمای توزیع وایبل برای سرعت باد	۳۳
۳-۴- چگالی توان	۳۴
۳-۵- دسته‌بندی باد	۳۷
۳-۶- چینش باد	۳۸
۳-۶-۱- مفهوم چینش باد:	۴۱
۳-۷- چگالی هوا به عنوان تابعی از ارتفاع	۴۲
۳-۷-۱- چگالی هوا به عنوان تابعی از رطوبت	۴۳

فصل چهارم: آیرودینامیک پره‌های توربین بادی

۴-۱- مقدمه	۴۶
۴-۲- هواپرها	۴۷

۵۰	۳-۴- سرعت نسبی باد
۵۵	۴-۴- نظریه دیسک روتور
۵۹	۵-۴- نیروی برآر
۵۹	۴-۵-۱- استدلال غلط زمان گذر برابر
۶۳	۴-۵-۲- جریان چرخشی سیال، گردش و گردابه‌ها
۶۵	۴-۵-۳- سیال‌های واقعی
۶۷	۴-۵-۴- جریان سیال در بالای هواپر
۶۸	۴-۵-۵- رعد و برق وینولدز بر ضرایب برآر و پسا
	۴-۶- ریزش مبنی بر پسا
۷۳	فصل پنجم: ایر-پایانه
۷۳	۵-۱- مقدمه
۷۳	۵-۲- مدل جزء پر
۷۹	۵-۳- توربین‌های سرعت ثابت تنظیم گام در مقابل واماندگی
۸۱	۵-۴- توربین‌های سرعت متغیر
۸۱	۵-۵- منحنی‌های توان
۸۳	۵-۶- توربین‌های با محور عمودی (VAWT)
۸۷	فصل ششم: اندازه‌گیری باد
۸۷	۶-۱- مقدمه
۸۷	۶-۲- تعریف سرعت باد
۸۸	۶-۳- میانی اندازه‌گیری باد
۹۳	۶-۳-۱- بادسنج
۹۴	۶-۳-۲- واسنجی بادسنج‌ها
۹۴	۶-۳-۳- بادنما
۹۸	۶-۳-۴- جایگذاری حس‌گرها
۹۹	۶-۳-۵- اثر زاویه‌ای جریان ورودی
۹۹	۶-۳-۶- اثر دما
۱۰۱	۶-۳-۷- عدم قطعیت در اندازه‌گیری سرعت باد توسط بادسنج‌ها
۱۰۳	۶-۳-۸- مثالی از تخمین خطا
۱۰۳	۶-۳-۹- سایر حس‌گرها
۱۰۴	۶-۳-۱۰- داده‌نگار و وسیله ارتباط
۱۰۷	۶-۴- طراحی عملیات اندازه‌گیری باد
۱۰۸	۶-۵- نصب دکل‌های هواشناسی
	۶-۶- مثالی از نصب دکل هواشناسی

۷-۶- مدیریت داده‌ها.....	۱۰۹
۸-۶- پردازش داده‌ها.....	۱۱۱
۹-۶- کمیت‌های محاسبه شده.....	۱۱۵
۱-۹-۶- تلاطم.....	۱۱۶
۲-۹-۶- چینش باد.....	۱۱۷
۳-۹-۶- چگالی هوا.....	۱۱۸
۴-۹-۶- چگالی توان.....	۱۱۸
۱-۹-۶- سنسش از راه دور برای اندازه‌گیری سرعت باد.....	۱۱۹
۱-۹-۶- مزایا و معایب سنسش از راه دور برای اندازه‌گیری‌های باد.....	۱۲۰
فصل هفتم: ارزیابی منابع باد.....	۱۲۵
۱-۷- مقدمه.....	۱۲۵
۲-۷- بررسی تحلیل منابع باد.....	۱۲۶
۳-۷- منابع داده‌های.....	۱۲۷
۴-۷- مدل‌های تخمین منابع.....	۱۲۹
۵-۷- مدل‌های میان‌مقیاس.....	۱۲۹
۱-۵-۷- مدل‌های CFD.....	۱۳۰
۲-۵-۷- WASP، یک مدل کوچک.....	۱۳۰
۳-۵-۷- تعاریف.....	۱۳۱
۴-۵-۷- توصیف مدل WASP.....	۱۳۳
۵-۵-۷- خروجی مدل WASP.....	۱۳۵
۶-۷- مراحل ارزیابی منابع.....	۱۳۷
۷-۷- ارزیابی مقدماتی منابع باد.....	۱۳۸
۱-۷-۷- جستجوی نقشه منابع باد.....	۱۳۸
۱-۸-۷- تحلیل مقدماتی داده‌های باد از فرودگاه‌ها و دکل‌های هواشناسی.....	۱۴۰
۲-۸-۷- تحلیل دقیق داده‌های باد فرودگاه‌ها و دکل‌های هواشناسی.....	۱۴۰
۹-۷- اندازه‌گیری سرعت باد در محل.....	۱۴۱
۱۰-۷- بیرون‌یابی مکانی منابع باد از مکان‌های اندازه‌گیری شده به مکان در نظر گرفته شده برای توربین‌ها.....	۱۴۱
۱۱-۷- هیندکست MCP/ داده‌های اندازه‌گیری شده.....	۱۴۲
۱-۱۱-۷- پیش‌بینی.....	۱۵۰
۱-۲-۱۱-۷- روش کلی پیش‌بینی.....	۱۵۰
۲-۲-۱۱-۷- رگرسیون.....	۱۵۱
۳-۲-۱۱-۷- مقیاس‌دهی پارامترهای وایبل.....	۱۵۲
۴-۲-۱۱-۷- روش ماتریس.....	۱۵۴
۵-۲-۱۱-۷- انتخاب روش پیش‌بینی.....	۱۵۹

۱۶۰ ۱۲-۷- محاسبات انرژی سالانه

۱۶۳ فصل هشتم: ارزیابی پیشرفته منابع باد

۱۶۳ ۱-۸- مقدمه

۱۶۴ ۲-۸- سرعت باد حدی (EWS)

۱۶۷ ۳-۸- مدل WASP در زمین‌های ناهموار

۱۶۹ ۴-۸- سبب باد در توربین‌ها

۱۷۰ ۴-۸-۱- مدل ایر. جنسن برای پس‌باد

۱۷۱ ۴-۸-۲- مدل مزجت جریان گردابی این‌اسلای

۱۷۲ ۴-۸-۳- سبب تلفات سرعت باد چندین توربین

۱۷۲ ۴-۸-۴- مدل سازی

۱۷۳ ۵-۸- جانمایی بزرگ توربین‌ها در مزرعه بادی

۱۷۵ ۶-۸- انتخاب دست‌انداز باد

۱۷۷ ۷-۸- برآورد تلفات

۱۸۱ ۹-۸- تحلیل عدم قطعیت

۱۸۲ ۱۰-۸- برآورد عدم قطعیت انرژی تولیدی سالانه

۱۸۴ ۱۱-۸- برآوردهای منابع غیرقابل قبول در قابل قبول

۱۸۷ فصل نهم: اجزای مولدهای توربین بادی (WTG)

۱۸۷ ۱-۹- مقدمه

۱۸۷ ۲-۹- سامانه روتور

۱۸۸ ۱-۲-۹- پره‌ها

۱۹۰ ۲-۲-۹- نیروها و ممان‌ها

۱۹۲ ۳-۲-۹- تویی روتور

۱۹۲ ۳-۹- انواع پیکره‌بندی‌های توربین‌ها

۱۹۷ ۱-۳-۹- گام

۱۹۸ ۲-۳-۹- بدنه

۱۹۸ ۳-۳-۹- جعبه دنده

۱۹۹ ۴-۳-۹- محور انحراف

۲۰۰ ۵-۳-۹- محفظه و چارچوب بدنه

۲۰۱ ۶-۳-۹- سازوکار بالابرنده/پایین‌آورنده

۲۰۲ ۷-۳-۹- دکل‌ها

۲۰۳ ۸-۳-۹- پی

۲۰۴ ۹-۳-۹- پی مسطح

۲۰۵ ۱۰-۳-۹- پی عمیق

۲۰۸	۱۱-۳-۹- بارهای طراحی توربین بادی
۲۰۹	۱۲-۳-۹- شرایط باد طرح
۲۰۹	۱۳-۳-۹- مدل نمایه طبیعی باد (NWP)
۲۱۱	۱۴-۳-۹- مدل سرعت باد حدی (EWM)
۲۱۲	۱۵-۳-۹- صدور مجوز توربین

فصل دهم: مبانی الکتریسیته و مولدها ۲۲۳

۲۲۳	۱-۱- مقدمه
۲۲۳	۱-۱-۱- اولیه الکترومغناطیس
۲۲۴	۲-۱- قانون القاء فارادی
۲۲۴	۲-۱-۱- قانون
۲۲۵	۳-۲-۱- قانون لورنتز - ساواریت
۲۲۵	۳-۱- اصول الکترونیک
۲۲۷	۴-۱- اصول اولیه ماشین های الکتریکی
۲۲۸	۱-۴-۱- تبدیل توان الکتریکی
۲۲۹	۵-۱- مولد سنکرون
۲۳۲	۶-۱- تجزیه و تحلیل مولد سنکرون
۲۳۶	۶-۱-۱- مولدهای سنکرون آهنربا با سیستم
۲۳۹	۳-۶-۱- مولدهای سنکرون با محور محرک (DDSG)
۲۴۰	۷-۱- مولدهای آسنکرون
۲۴۵	۷-۱-۱- سرعت متغیر

فصل یازدهم: استقرار توربین های بادی در شبکه ۲۴۹

۲۴۹	۱-۱- مقدمه
۲۵۰	۲-۱-۱- وقتی بادی نباشد در شبکه چه اتفاقی می افتد؟
۲۵۲	۳-۱-۱- برنامه زمان بندی و انتقال منابع باد
۲۵۳	۴-۱-۱- نمودار تک خطی
۲۵۶	۵-۱-۱- انتقال و توزیع
۲۵۹	۶-۱-۱- استانداردهای اتصال داخلی
۲۵۹	۱-۶-۱- عامل توان و توان هرز
۲۶۱	۱-۶-۲- قابلیت عبور از ولتاژ پایین
۲۶۲	۷-۱-۱- کیفیت توان: نوسان و هارمونیک ها
۲۶۳	۷-۱-۱- توان مدار کوتاه
۲۶۴	۸-۱-۱- توپولوژی مزرعه بادی
۲۶۷	۹-۱-۱- سامانه های حفاظت

۲۶۹	۱۱-۱۰- اتصال زمین برای ولتاژ بالا و حفاظت از صاعقه
۲۷۰	۱۱-۱۰-۱- حفاظت از صاعقه
۲۷۱	۱۱-۱۱- ترانسفورمر مورد استفاده در باد
۲۷۲	۱۱-۱۲- مطالعه‌های ارتباط داخلی و انتقال در نیروگاه بادی
۲۷۴	۱۱-۱۳- گلوگاه‌های انتقال
۲۷۵	۱۱-۱۴- سامانه‌های SCADA
۲۷۵	۱۱-۱۴-۱- جمع‌آوری داده‌ها
۲۷۶	۱۱-۱۴-۱- گزارش کردن
۲۷۷	۱۱-۱۴-۳- کنترل
۲۸۱	فصل دوازدهم: آثار زیست‌محیطی پروژه‌های بادی
۲۸۱	۱۲-۱- مقدمه
۲۸۲	۱۲-۲- چارچوب ارزیابی آثار زیست‌محیطی
۲۸۲	۱۲-۲-۱- زمینه‌های زیست‌محیطی
۲۸۳	۱۲-۲-۲- مقیاس زمانی و مکانی
۲۸۳	۱۲-۲-۳- آثار تجمعی
۲۸۴	۱۲-۳- مقایسه سریع باد در مقابل تولید انرژی بر سوخت فسیلی
۲۸۴	۱۲-۴- اثر مزارع بادی بر حیات وحش
۲۸۹	۱۲-۵- صدای حاصل از توربین‌های بادی
۲۹۲	۱۲-۵-۱- کاهش صدا
۲۹۲	۱۲-۵-۲- صدای بسامد پایین
۲۹۳	۱۲-۶- چشمک زدن سایه
۲۹۴	۱۲-۷- اثر زیبایی
۲۹۶	۱۲-۸- به خطر انداختن حمل و نقل هوایی
۲۹۷	۱۲-۹- تداخل الکترومغناطیسی
۲۹۷	۱۲-۹-۱- ریزموج
۲۹۹	۱۲-۹-۲- انتقال‌های تلویزیونی و رادیویی
۲۹۹	۱۲-۹-۳- رادار
۳۰۵	فصل سیزدهم: مدل‌سازی مالی پروژه‌های بادی
۳۰۵	۱۳-۱- مقدمه
۳۰۵	۱۳-۲- مدل مالی
۳۰۶	۱۳-۲-۱- مدل درآمد
۳۱۱	۱۳-۲-۲- اعتبارهای انرژی تجدیدپذیر و اعتبارهای کربنی
۳۱۳	۱۳-۲-۳- محاسبه‌های درآمد

۳۱۳	۱۳-۲-۴- هزینه‌های سرمایه‌گذاری
۳۱۵	۱۳-۲-۵- هزینه توربین
۳۱۷	۱۳-۲-۶- هزینه پی، نصب، جاده دسترسی و سایر کارهای عمرانی
۳۱۸	۱۳-۲-۷- ایستگاه فرعی، سامانه کنترل، کابل‌ها، نصب و سایر موارد مرتبط با اتصال‌های شبکه
۳۱۸	۱۳-۲-۸- سایر هزینه‌ها
۳۱۸	۱۳-۲-۹- هزینه‌های بهره‌برداری
۳۲۱	۱۳-۳- استهلاک و مالیات‌ها
۳۲۲	۱۳-۴- صورت‌های مالی
۳۲۲	۱۳-۴-۱- صورت درآمد و گردش نقدی برای یک پروژه بادی
۳۲۲	۱۳-۴-۲- ترازنامه برای یک پروژه بادی
۳۲۲	۱۳-۴-۳- عملیات مالی
۳۲۶	۱۳-۴-۴- ارزش خالص فعلی (NPV)
۳۲۶	۱۳-۴-۵- دوره بازگشت مایه
۳۲۷	۱۳-۴-۶- نرخ بازده داخلی (IRR)
۳۲۸	۱۳-۴-۷- اثر اعتبار مالیات و استهلاک سریع بر عملکرد مالی
۳۳۵	۱۳-۵- تأمین مالی و ساخت پروژه‌های بادی
۳۳۸	۱۳-۶- ارزیابی مالی گزینه‌ها

فصل چهاردهم: برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های بادی ۳۴۳

۳۴۳	۱۴-۱- مقدمه
۳۴۳	۱۴-۲- برنامه‌ریزی سطح بالای پروژه و جدول زمان‌بندی
۳۴۴	۱۴-۲-۱- توسعه
۳۴۵	۱۴-۲-۲- بررسی
۳۴۶	۱۴-۲-۳- اندازه‌گیری و ارزیابی دقیق باد
۳۴۸	۱۴-۲-۴- جانمایی پروژه، ارتباط داخلی و PPA
۳۵۰	۱۴-۲-۵- مهندسی و تأمین قطعات پروژه
۳۵۶	۱۴-۲-۶- تأمین مالی پروژه
۳۵۷	۱۴-۳- ساخت، نصب و راه‌اندازی
۳۵۷	۱۴-۳-۱- ساخت زیرساخت‌ها
۳۵۸	۱۴-۳-۲- آماده‌سازی محل
۳۵۹	۱۴-۳-۳- ساخت پی و نصب توربین
۳۶۳	۱۴-۳-۴- ساخت سامانه جمع‌آوری و ایستگاه فرعی
۳۶۴	۱۴-۳-۵- راه‌اندازی
۳۶۵	۱۴-۴- بهره‌برداری

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱- کل هزینه نصب، هزینه سوخت و هزینه O & M انرژی از منابع مختلف	۵
جدول ۱-۳- میانگین و نمای توزیع وایبل برای عامل‌های شکل و مقیاس متفاوت	۳۴
جدول ۲-۳- مقایسه محاسبه چگالی توان	۳۵
جدول ۳-۳- میزان تغییر چگالی توان با تغییر عامل شکل	۳۷
جدول ۴-۳- تعریف دسته‌های باد	۳۷
جدول ۵-۳- سطح دسته‌های زبری ^۱ ، طول زبری ^۲ و چینش باد	۴۰
جدول ۶-۱- چگالی هوا به عنوان تابعی از ارتفاع برای هوای خشک	۴۳
جدول ۳- ترکیب‌های موجود در هوا و وزن مولکولی اجزای آن	۴۴
جدول ۸-۲- چگالی هوا به عنوان تابعی از رطوبت نسبی برای $T_c = 15^\circ C$ و $p = 1.01325 \text{ PA}$	۴۴
جدول ۱-۴- ضرایب پست برای اشیاء با شکل‌های مختلف	۶۹
جدول ۱-۶- توصیف داده‌های پارامتر اثر دسته A و دسته B، در IEC 61400-12-1	۹۲
جدول ۲-۶- انحراف پارکای بین بادستج‌ها	۹۳
جدول ۳-۶- مقادیر آماری محاسبه شده برای مقادیر اندازه‌گیری شده	۱۰۴
جدول ۴-۶- نمایش محدوده معیارهای آزمون برای مقادیر اندازه‌گیری شده	۱۱۲
جدول ۵-۶- نمایش محدوده آزمون‌های مربوط به مقادیر اندازه‌گیری شده	۱۱۲
جدول ۶-۶- تصویر معیارهای آزمون روند به مقادیر اندازه‌گیری شده	۱۱۳
جدول ۷-۶- دسته‌بندی چهار سال داده سرعت باد، ولنتاین، نابراسکا ^۱	۱۱۳
جدول ۸-۶- پارامترهای وایبل برای داده‌های دسته‌بندی شده ولنتاین، نابراسکا	۱۱۴
جدول ۹-۶- مقادیر میانگین چینش باد در هر بخش، ولنتاین، نابراسکا	۱۱۸
جدول ۱-۷- خصوصیات مناطق با توجه به منابع باد و رزیابی	۱۳۵
جدول ۲-۷- خروجی آمار باد مدل WASP	۱۳۶
جدول ۳-۷- خصوصیات داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های مرجع جهت برای مثال MCP	۱۴۳
جدول ۴-۷- هم‌بستگی داده‌های سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع‌های مختلف و یا روش‌های مختلف	۱۴۶
جمع‌آوری	
جدول ۵-۷- دستورالعمل تعیین اینکه آیا دو سری زمانی سرعت باد، به هم وابسته یا یکسان هستند یا نه؟	۱۴۷
جدول ۶-۷- خلاصه آمار سرعت باد، جهت باد و هم‌بستگی برای مثال ولنتاین	۱۴۸
جدول ۷-۷- هم‌بستگی بین ولنتاین و داده سرعت باد NCAR برای میانگین در طول دوره‌های زمانی مختلف	۱۴۸
جدول ۸-۷- روش‌های رگرسیونی که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند	۱۵۱
جدول ۹-۷- محاسبه‌های روش مقیاس‌دهی پارامتر وایبل	۱۵۴

جدول ۷-۱۰- مثالی از روش ماتریس برای پیش‌بینی.....	۱۵۵
جدول ۸-۱- فهرست‌بندی وقایع حدی، برای مثال سری زمانی ۴ ساله.....	۱۶۶
جدول ۸-۲- مقادیر سرعت باد شدید برای محدوده‌های مختلف.....	۱۶۷
جدول ۸-۳- تعریف دسته توربین بادی.....	۱۷۵
جدول ۸-۴- تعریف عوارض ساده با توجه سطحی که از پایه توربین می‌گذرد.....	۱۷۶
جدول ۸-۵- گروه‌بندی افت، برآورد عمومی و توضیحات.....	۱۸۰
جدول ۸-۶- بیان عدم قطعیت به عنوان PN.....	۱۸۲
جدول ۸-۷- جذر میانگین مربع‌های خطا ۱ در برآورد سرعت باد با استفاده از مدل‌های مختلف برای برون‌یابی مکان.....	۱۸۲
جدول ۸-۸- پارامترهای مورد استفاده در محاسبه عدم قطعیت.....	۱۸۴
جدول ۹-۱- وزن‌های جزئی بهره.....	۱۹۰
جدول ۹-۲- مثالی از روش‌ها بر روی توربین دسته ۲۲۵ MW.....	۲۰۴
جدول ۹-۳- مادی تقریبی بدون تنش P&H برای IEC ۱A ۲/۳ مگاواتی زیرمنس.....	۲۰۶
جدول ۹-۴- حالت‌های طراحی از استاندارد ۱-۶۱۴۰۰ IEC.....	۲۱۰
جدول ۹-۵- خصوصیات دقیق توربین ونسیس ۱/۵ مگاواتی.....	۲۱۴
جدول ۹-۶- خصوصیات دقیق توربین گنت یک مگاواتی.....	۲۱۶
جدول ۹-۷- خصوصیات دقیق توربین G1 ۱ مگاواتی.....	۲۱۸
جدول ۹-۸- خصوصیات دقیق توربین ونسیس ۱/۵ مگاواتی.....	۲۲۰
جدول ۱۰-۱- مقایسه ویژگی‌های مولد سنکرون آنالوگیکرون.....	۲۴۲
جدول ۱۰-۲- مقایسه سه مولد سرعت متغیر.....	۲۴۶
جدول ۱۱-۱- راهنمای مقدار توان انتقال یافته در سه توغسبکه توان.....	۲۵۷
جدول ۱۱-۲- اندازه‌های هادی انتقال هوایی و ظرفیت انتقال جریان.....	۲۵۸
جدول ۱۱-۳- ظرفیت انتقال جریان و طول توان MM^2 ۱۰۰ کیلو آمپر آلومینیومی.....	۲۵۹
جدول ۱۲-۱- انتشار گازهای گلخانه‌ای برای واحدهای تولید سربسته در سال ۲۰۰۰.....	۲۸۴
جدول ۱۲-۲- DBA منابع صدای معمولی.....	۲۹۰
جدول ۱۲-۳- قوانین صدا در ایالت مینسوتا.....	۲۹۲
جدول ۱۳-۱- دسته‌های جزئی هزینه‌های سرمایه‌ای و شکست تقریبی برحسب درصد.....	۳۱۶
جدول ۱۳-۲- دسته‌های جزئی هزینه‌های O&M و شکست تقریبی برحسب (٪) (لازم).....	۳۲۰
جدول ۱۳-۳- ساختار صورت‌درآمد برای یک پروژه بادی معمولی.....	۳۲۳
جدول ۱۳-۴- ساختار ترازنامه برای یک پروژه بادی معمولی.....	۳۲۴
جدول ۱۳-۵- تصویر محاسبه‌های دوره بازگشت سرمایه ساده.....	۳۲۷
جدول ۱۳-۶- صورت درآمد با استهلاک خطی.....	۳۳۰
جدول ۱۳-۷- صورت درآمد با استهلاک سریع.....	۳۳۱

جدول ۱۳-۸- مورد مشابه جدول ۱۳-۶ با این تفاوت که از سود مالیات برای کسب درآمد استفاده شده	۳۳۲
است.....	۳۳۳
جدول ۱۳-۹- با PTC و سود مالیاتی مورد استفاده برای کسب درآمد.....	۳۳۴
جدول ۱۳-۱۰- با ITC و سود مالیاتی مورد استفاده برای کسب درآمد.....	۳۳۵
جدول ۱۳-۱۱- پارامترهای عملیات مالی.....	۳۳۷
جدول ۱۳-۱۲- فرضیه‌ها و عملکرد مالی ساختارهای مالی مختلف مورد استفاده در پروژه‌های بادی	۳۳۳
جدول ۱۳-۹- با PTC و سود مالیاتی مورد استفاده برای کسب درآمد.....	۳۳۳

www.ketab.ir

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ - کل ظرفیت نصب شده توان بادی در جهان..... ۲
- شکل ۲-۱ - ظرفیت نصب شده جدید توان بادی در سراسر جهان..... ۲
- شکل ۳-۱ - کل ظرفیت نصب شده توان بادی (GW) در هر کشور در ده کشور اول..... ۳
- شکل ۴-۱ - کل ظرفیت نصب شده توان بادی فراساحلی (MW) در پنج کشور اول..... ۴
- شکل ۵-۱ - هزینه طبقه‌بندی شده انرژی حاصل از منابع مختلف..... ۵
- شکل ۶-۱ - تخمین هزینه تولید انرژی در آمریکا بر پایه دسته‌بندی باد..... ۶
- شکل ۱-۲ - استوانه هوا در مقابل روتور..... ۱۰
- شکل ۲-۲ - رابطه درجه ۳ بین توان و سرعت باد برای یک روتور با محور افقی با شعاع یک متر..... ۱۲
- شکل ۳-۲ - رابطه بین توان و اندازه روتور..... ۱۲
- شکل ۴-۲ - تصویر مبدل کنترل خطوط جریان در حال عبور از روتور..... ۱۳
- شکل ۵-۲ - افزایش فشار (از p_0 به p_0^p) با رسیدن باد به روتور، افت فشار در پشت روتور (p_0^p) و سپس افزایش فشار به p_0 در پس..... ۱۶
- شکل ۶-۲ - آیا جریان می‌تواند به شکل یک استوانه یکنواخت باشد؟..... ۱۶
- شکل ۷-۲ - تصویر روتور در نقش یک مار نفوذناپذیر..... ۱۷
- شکل ۸-۲ - ضریب توان روتور بادی (P/P_{id}) به عنوان تابعی از سرعت باد در پس‌باد به سرعت باد ورودی..... ۲۱
- شکل ۹-۲ - خط نقطه‌چین، منحنی توان بین بادی ۱ (WTG) یک مگاواتی با روتور به قطر ۷۰ M است. منحنی ممتد منحنی حد بتز برای روتور مشابه است..... ۲۳
- شکل ۱۰-۲ - توربین بادی با محور عمودی..... ۲۴
- شکل ۱۱-۲ - تصویر روتور آبی چرخ پلوتون..... ۲۵
- شکل ۱-۳ - چرخه جوی هوا..... ۳۰
- شکل ۲-۳ - تابع چگالی احتمال وایبل برای $A = 8 \text{ M/S}$ ۳۱
- شکل ۳-۳ - تابع چگالی احتمال وایبل برحسب ساعت بر سال..... ۳۲
- شکل ۴-۳ - تابع چگالی احتمال وایبل برای $k=2$ و مقادیر مختلف A ۳۳
- شکل ۵-۳ - تصویر تابع چگالی توان برای سرعت باد با توزیع وایبل $A=8$ و $k=2$ ۳۶
- شکل ۶-۳ - نمودار نسبت سرعت باد به نسبت ارتفاع برای مقادیر مختلف چگالی باد..... ۳۹
- شکل ۷-۳ - نمودار سرعت باد برحسب ارتفاع برای مقادیر مختلف چگالی باد..... ۳۹
- شکل ۸-۳ - نمودار سرعت باد به عنوان تابعی از ارتفاع، با سرعت باد ۱۰ متر بر ثانیه در ارتفاع ۲۰۰ متری..... ۴۱
- شکل ۱-۴ - نام‌گذاری اجزای هوابر..... ۴۸
- شکل ۲-۴ - نمودار سرعت و فشار در امتداد یک هوابر متقارن..... ۴۹
- شکل ۳-۴ - هوابر متقارن با زاویه حمله مثبت و هوابر نامتقارن با زاویه حمله صفر..... ۵۰
- شکل ۴-۴ - ارتباط بین نیروی برآر و پسا و زاویه حمله برای هوابر..... ۵۰

- شکل ۴-۵ - طرح کلی توربین بادی که در صفحه $Y-Z$ می چرخد. ۵۱.....
- شکل ۴-۶ - نمودار سرعت نسبی و زاویه بین بردار سرعت باد و بردار سرعت نسبی. ۵۲.....
- شکل ۴-۷ - سرعت باد نسبت به پره در سه مکان روی پره، $R/10$ ، $R/2$ و R . ۵۳.....
- شکل ۴-۸ - رابطه بین زاویه حمله، زاویه گام و زاویه بین سرعت نسبی و سرعت مماسی. ۵۳.....
- شکل ۴-۹ - رابطه بین گاما و زاویه گام به عنوان تابعی از شعاع برای $\alpha = 6^\circ$. ۵۴.....
- شکل ۴-۱۰ - تصویری از توربین سه پره بدون پیچ و تاب. ۵۵.....
- شکل ۴-۱۱ - نمایش نظریه دیسک روتور. ۵۶.....
- شکل ۴-۱۲ - نیروی برآر ناشی از اثر مغناطیسی روی استوانه چرخان در جریان سیال. ۶۰.....
- شکل ۱۳ - نمایش چگونگی در نظر گرفتن جریان عبوری بر روی هواپر به صورت مجموعه از دو جزء. ۶۱.....
- جریان غیرلزج از چرخش. ۶۱.....
- شکل ۴-۱۴ - جریان سیال اطراف هواپر با دو نقطه ایستایی. ۶۱.....
- شکل ۴-۱۵ - جریان سیال اطراف هواپر با شرایط کوتا. ۶۲.....
- شکل ۴-۱۶ - شکل کلی ضریب برآر به عنوان تابعی از زاویه حمله برای یک هواپر متقارن. ۶۳.....
- شکل ۴-۱۷ - تشکیل به دو روی هواپر. ۶۴.....
- شکل ۴-۱۸ - نیروی پسا برآر به عنوان تابعی از زاویه حمله. ۶۶.....
- شکل ۴-۱۹ - ضریب برآر برای شتاب متفاوت عدد رینولدز. ۶۸.....
- شکل ۴-۲۰ - ضریب پسا برای ضریب برآر متغیر عدد رینولدز. ۶۸.....
- شکل ۴-۲۱ - نیروی پسا وارد بر یک سطح طبعی که عمود بر جهت باد قرار گرفته است. ۶۹.....
- شکل ۴-۲۲ - نمای بالای توربین با محور سودی متناهی پسا. ۷۰.....
- شکل ۴-۲۳ - نمودار کارایی توربین پسا به عنوان تابعی از نسبت سرعت صفحه به سرعت باد. ۷۱.....
- شکل ۵-۱ - سرعت باد نسبت به پره و نیروهای برآر و پسا. ۷۴.....
- شکل ۵-۲ - توان خروجی توربین با عامل افت نوک پرها و سطح گلارت. ۷۷.....
- شکل ۵-۳ - ضریب توان معمولی در مقابل نسبت سرعت نوک $(\lambda = 5R/v_0)$ برای مقادیر متفاوت زاویه گام (ϕ) ، بر حسب درجه. ۷۸.....
- شکل ۵-۴ - نمودار ضریب توان بر نسبت سرعت نوک متقابل. ۷۸.....
- شکل ۵-۵ - توان خروجی نسبت به سرعت روتور برای سرعت های متقابل باد. ۸۰.....
- شکل ۵-۶ - منحنی توان برای توربین های با زاویه گام تنظیم شده و واماندگی محال تنظیم شده. ۸۰.....
- شکل ۵-۷ - توربین بادی H روتور عمود محور. ۸۴.....
- شکل ۶-۱ - بادسنج و بادنما. ۹۰.....
- شکل ۶-۲ - بادسنج تیس دسته ۱. ۹۰.....
- شکل ۶-۳ - بادسنج صوتی برای اندازه گیری هر سه مؤلفه برداری سرعت باد. ۹۱.....
- شکل ۴-۶ - نمودار انحراف های مورد استفاده برای دسته بندی بادسنج ها در استاندارد ۱-۱۲-۱۴۰۰ IEC. ۹۲.....
- شکل ۵-۶ - دکل تک قطبی با دو بادسنج و یک بادنما. ۹۵.....
- شکل ۶-۶ - خطوط هم سرعت اطراف تک قطبی. ۹۶.....

- شکل ۶-۷- نمودار تغییر سرعت باد در مقابل فاصله از مرکز دکل هواشناسی در طول جهت منفی محور Xها ۹۷
- شکل ۶-۸- نمودار مفهومی اندازه‌گیری سرعت باد با استفاده از بادسنج روی یک تک‌قطبی با طول تیرکی معادل با پنج برابر قطر قطب ۹۸
- شکل ۶-۹- مقایسه عملکرد دسته اول پیشرفته تیس برای زوایای مختلف جریان ورودی و سرعت‌های باد متفاوت حاصل از سرویس واسنجی ۹۸
- شکل ۶-۱۰- خطا در سرعت باد در ۸۰ متری که با استفاده از چینش باد بر مبنای بادسنج‌های با کیفیت متفاوت ارتفاع بالاتر از ۵۰ M و ارتفاع‌های مختلف پایین‌تر از ۵۰ M متر محاسبه شده است ۱۰۰
- شکل ۶-۱۱- خطا در سرعت باد در ۸۰ متری که با استفاده از چینش باد بر مبنای اندازه‌گیری‌های سرعت باد در دو ارتفاع محاسبه شده است ۱۰۲
- شکل ۶-۱۲- گام یک مکان فرضی ۱۰۸
- شکل ۶-۱۳- بلندنما مدیریت داده ۱۰۹
- شکل ۶-۱۴- مدل رادار جهت NW ۱۱۴
- شکل ۶-۱۵- گل باد مربوط به استان، نایراسکا ۱۱۵
- شکل ۶-۱۶- نمودار میانگین انحراف صغیر شدت تلاطم به عنوان تابعی از سرعت باد در ارتفاع توپی ۱۱۷
- شکل ۶-۱۷- تصویر واحد SODAR NOM. DTIM ۱۲۰
- شکل ۶-۱۸- تصویر واحد LIDAR ZEPHIR® ۱۲۱
- شکل ۷-۱- روند کلی ارزیابی منابع باد WIND در تحلیل‌های مالی ۱۲۶
- شکل ۷-۲- مدل WASP برای ارزیابی منابع ۱۳۲
- شکل ۷-۳- گل باد مربوط به اقلیم باد منطقه‌ای در ارتفاع ۵۰ M و زبری دسته ۱ ۱۳۶
- شکل ۷-۴- نمودار بخشی از یک مسیر خاص همراه با طبع سرعت باد به عنوان تابعی از ارتفاع با کوه‌ها و موانع و بدون آن‌ها ۱۳۷
- شکل ۷-۵- مراحل ارزیابی منابع ۱۳۸
- شکل ۷-۶- نقشه منابع باد آمریکا: بیلی رابرتز، ۱۲ دسامبر ۲۰۰۸ ۱۳۹
- شکل ۷-۷- نمودار داده‌های سرعت باد اندازه‌گیری محلی و میانگین باد به سرعت باد مرجع بلندمدت ۱۴۴
- شکل ۷-۸- نمودار داده‌های میانگین سرعت باد ماهانه مرجع و اندازه‌گیری‌ها همراه با آن‌ها ۱۴۹
- شکل ۷-۹- الف تا پ. مقایسه داده‌های ولنتاین و NACR در هر قطاع ۱۴۹
- شکل ۷-۱۰- الف و ب. رگرسیون خطی در دو قطاع برای پیش‌بینی سرعت باد ۱۵۲
- شکل ۷-۱۱- الف و ب. خطا در پیش‌بینی سرعت باد در دوقطاع ۱۵۳
- شکل ۷-۱۲- الف و ب. محاسبه میانگین و انحراف معیار افزایش سرعت در دو قطاع به روش ماتریس ۱۵۶
- شکل ۷-۱۳- الف و ب. محاسبه میانگین و انحراف معیار تغییر جهت باد به روش ماتریس ۱۵۷
- شکل ۷-۱۴- سرعت باد در محل مرجع ۱۵۸
- شکل ۸-۱- نمودار سرعت باد حدی با رگرسیون خطی که برای محاسبه پارامترهای A و B در توزیع گامبل برازش داده شده است ۱۶۷
- شکل ۸-۲- تصویر از مکان با خطوط تراز ارتفاعی، دایره‌ای به شعاع R ۱۶۸
- شکل ۸-۳- نمایش مرزعه بادی یا سه ردیف توربین ۱۷۰

- شکل ۸-۴- نمایش فرضیه‌ها در مدل پس‌باد این. ا. جنسن ۱۷۱
- شکل ۹-۱- مقطع عرضی پره ۱۸۹
- شکل ۹-۲- نیروها و ممان‌های مؤثر بر پره ۱۹۱
- شکل ۹-۳- طرح کلی اجزای توربین بادی ۱۹۳
- شکل ۹-۴- طرح کلی توربین دارای جعبه دنده ۱۹۴
- شکل ۹-۵- طرح کلی توربین محور- مستقیم (دارای مجوز از SKF، سازنده یاتاقان) ۱۹۶
- شکل ۹-۶- طرح کلی توربین درایو- مستقیم (دارای مجوز از انرژی ونسیس AG) ۱۹۶
- شکل ۹-۷- طرح کلی توربین دو پره ۱۹۷
- شکل ۸-۸- طرح کلی یک جعبه دنده چند مرحله‌ای ۲۰۰
- شکل ۹-۹- یاتاقان مخروطی دو غلطکی ۲۰۱
- شکل ۹-۱۰- طرح کلی سازگار پرنده مانند ورگنت که به جعبه دنده، روتور و پرها اجازه می‌دهد که بالا و پایین روند ۲۰۲
- شکل ۹-۱۱- بارهای پیوسته ۲۰۳
- شکل ۹-۱۲- ابعاد تقریبی مناسب برای توربین معمولی به اندازه ۱/۵ MW ۲۰۵
- شکل ۹-۱۳- نمای ایزومتریک از فافش P&H ۲۰۶
- شکل ۹-۱۴- پی پایه P&H برای وینس KW-۶۶۰ در سال ۱۹۹۹ در محلی در نبراسکا ۲۰۷
- شکل ۱۰-۱- تصویر میدان مغناطیسی حاصل جریان در رسانا ۲۲۴
- شکل ۱۰-۲- طرح کلی یک مولد ۲۲۸
- شکل ۱۰-۳- توضیحات مربوط به مدار استاتور ۲۳۱
- شکل ۱۰-۴- توضیحات مربوط به میدان مغناطیسی استاتور ۲۳۲
- شکل ۱۰-۵- خصوصیات توان مولد سنکرون در ماشین‌های تن در مقابل زاویه بار ۲۳۵
- شکل ۱۰-۶- طرح کلی مولد سنکرون متصل به شبکه روتور سیم‌پیچی شده ۲۳۵
- شکل ۱۰-۷- طرح کلی مولد سنکرون با سرعت متغیر با راندهای دائمی ۲۳۷
- شکل ۱۰-۸- طرح کلی الکترونیک‌های قدرت^۱ و کنترل توان واکنش با یک مولد آهن‌ربای دائمی ۲۳۷
- شکل ۱۰-۹- توان در مقابل ویژگی‌های سرعت روتور یک توربین بادی برای سرعت‌های باد متفاوت ۲۳۸
- شکل ۱۰-۱۰- طرح کلی مولد سنکرون با محور محرک مستقیم ۲۴۰
- شکل ۱۰-۱۱- توضیحات مربوط به مولدهای القایی ۲۴۱
- شکل ۱۰-۱۲- ویژگی‌های عملکرد یک مولد آسنکرون ۲۴۲
- شکل ۱۰-۱۳- طرح کلی اتصال سامانه سرعت ثابت با یک مولد آسنکرون که دارای اتصال مستقیم به شبکه است ۲۴۴
- شکل ۱۰-۱۴- طرح کلی یک مولد آسنکرون که در آن لغزش با یک مقاومت متغیر روی روتور مدیریت می‌شود ۳۴۵
- شکل ۱۰-۱۵- طرح کلی یک مولد القایی تغذیه مضاعف ۳۴۵
- شکل ۱۱-۱- نمادهای مورد استفاده در یک نمودار تک‌خطی ۳۵۳

- شکل ۱۱-۲- نمودار تک‌خطی اجزا از مولد به مبدل در پایه دکل ۲۵۶
- شکل ۱۱-۳- نمودار تک خطی مزرعه بادی در یک توپولوژی شعاعی ۲۵۶
- شکل ۱۱-۴- منحنی‌های عامل توان و گشتاور برای مولد القایی قفس سنجایی ۲۶۰
- شکل ۱۱-۵- ویژگی‌های قابلیت عبور از ولتاژ پایین ۲۶۲
- شکل ۱۱-۶- توپولوژی شعاعی با مدار شکن ۲۶۵
- شکل ۱۱-۷- جاتمایی شعاعی دوشاخه با مدار شکن بعد از باس معمولی ۲۶۵
- شکل ۱۱-۸- جاتمایی تغذیه‌کننده- تغذیه‌کننده فرعی با مدار شکن در انتهای هر تغذیه‌کننده ۲۶۶
- شکل ۱۱-۹- تغذیه‌کننده حلقوی برای افزونگی ۲۶۷
- شکل ۱۱-۱۰- ارائه سامانه اتصال به ترابین حول پی توربین ۲۶۹
- شکل ۱۱-۱۲- موقعیت A و B برج‌های ریزموج ۲۹۸
- شکل ۱۲-۳- نمودار اثر NWS ۳۰۰
- شکل ۱۲-۴- خروجی رار FFA برای تحلیل‌های اولیه اثر پتانسیل بر رادار دوربرد مورد استفاده برای دفاع هوایی و امنیت دریایی ۳۰۲
- شکل ۱۳-۱- قیمت فرسودگی انرژی بادی در آمریکا ۳۰۷
- شکل ۱۳-۲- کل هزینه نصب پروژه‌های بادی در آمریکا ۳۱۴
- شکل ۱۳-۳- میانگین کل هزینه نصب پروژه‌های بادی. داده‌های هزینه سال ۲۰۰۹ بر پایه نمونه پروژه‌های بین‌المللی ۴ GW هستند ۳۱۴
- شکل ۱۳-۴- قیمت توربین‌ها در آمریکا در سال گذشته ۳۱۷
- شکل ۱۳-۵- طرح کلی ساختار مشارکت و جابجایی ۳۳۸
- شکل ۱۴-۱- مراحل سه‌گانه پروژه بادی ۳۴۴
- شکل ۱۴-۲- زمان‌بندی معمولی برای فاز توسعه ۳۴۴
- شکل ۱۴-۳- جدول زمانی معمولی برای ساخت و نصب ۳۵۸
- شکل ۱۴-۴- پی گسترده پس از به عمل آمدن بتن در پایه پی ۳۶۰
- شکل ۱۴-۵- بالا بردن اجزای دکل به وسیله جرثقیل اصلی ۳۶۱
- شکل ۱۴-۶- جرثقیل اصلی ۵۰ تن در حال بالا بردن اجزای رور در پیس ۷۷، ۱/۵ مگاواتی، با ارتفاع توپی ۱۰۰ M در مزرعه بادی نیوکرجین در نزدیکی شهر ایسناچ در توربینن آلمان ۳۶۲
- شکل ۱۴-۵- بالا بردن اجزای دکل به وسیله جرثقیل اصلی ۳۶۱

درباره مترجمین

امید بزرگ حداد

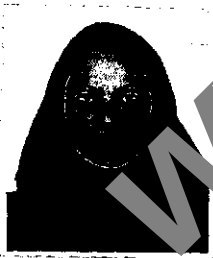


وی کارشناسی خود را در سال ۱۳۷۴ از دانشگاه تبریز در رشته مهندسی عمران- آب و کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۷۷ از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی در رشته مهندسی عمران- سازه‌های هیدرولیکی اخذ کرد. پس از اخذ درجه دکتری در رشته مهندسی عمران- منابع آب از دانشگاه علم و صنعت ایران در سال ۱۳۸۱ جهت ادامه تحقیقات به خارج از کشور عزیمت کرد. در این راستا موفق به اخذ درجه دکتری به ترتیب از دانشگاه تورنتو در کانادا در سال ۱۳۸۴ در رشته عمران- منابع آب و از دانشگاه دیویس کالیفرنیا در آمریکا در سال

۱۳۸۵ در رشته عمران- هیدرولیک شد. پس از آن در همان سال ضمن مراجعت به ایران همکاری خود را به‌عنوان هیئت علمی دانشگاه تهران آغاز کرد و هم‌اکنون دانشیار دانشگاه تهران است. موضوعات تحقیقاتی وی را می‌توان در زمینه برنامه‌ریزی و مدیریت کمتی و کیفی منابع آب و محیط زیست خلاصه کرد.

همکاری با صنعت آب کشور، راهنمایی و مشاوره تعدادی رساله دکتری و پایان‌نامه کارشناسی ارشد، چاپ و ارائه مقالات متعدد در مجله‌های کنفرانس ملی و بین‌المللی و تألیف و ترجمه کتب مختلف از جمله فعالیت‌های وی می‌باشند. هم‌اکنون سبب عناوین متعدد در جشنواره‌های گوناگون از جمله افتخارات وی است.

هیلدا کشتکار



وی کارشناس ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تهران است. وی در رشته کارشناسی را در سال ۱۳۸۹ در رشته مهندسی کشاورزی- آب و دانشگاه شیراز اخذ کرد و در سال ۱۳۹۲ تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع آب دانشگاه تهران به پایان رساند. موضوع تحقیقاتی پایان‌نامه او در مقطع کارشناسی ارشد در زمینه استفاده از انرژی باد در استحصال آب از نقاط پست بوده است.

محمد رضا جلالی



وی کارشناسی خود را در سال ۱۳۷۴ در رشته مهندسی عمران - عمران از دانشگاه فردوسی مشهد دریافت کرده و پس از آن در سال ۱۳۷۷ مدرک کارشناسی ارشد عمران - سازه‌های هیدرولیکی را از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ کرد. به دلیل علاقه فراوان وی به صنعت آب، در طول دوره دکتری در شرکت مهندسی مشاور مهاب قدسی فعالیت داشته و در طول ۹ سال اشتغال در آن شرکت، در مطالعات بیش از ۵۰ سد همکاری داشته است. در سال ۱۳۸۴ موفق به اخذ درجه دکتری عمران - مهندسی آب از دانشگاه علم و صنعت ایران شد. هم‌اکنون عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد تفرش بوده و هم‌چنان با فعالیت مداوم در صنعت آب عضو هیأت مدیره شرکت مهندسی مشاور تفرش است.

پیش‌گفتار مترجمین

کتاب مهندسی انرژی باد، نوشته دکتر پرامد جین (بیتیان‌گذار و رئیس شرکت نورآوران انرژی باد) است. در این کتاب سعی شده است مفاهیم و اصول مربوط به انرژی باد و به کارگیری آن، به زبانی ساده بیان شود. محاسبه‌های این انرژی، ساخت و کاربرد توربین‌ها، اصول طراحی نیروگاه بادی و منافع زیست‌محیطی و اقتصادی کاربرد این انرژی در ۱۴ فصل کتاب بیان شده‌اند.

اثرهای زیست‌محیطی مخرب استفاده از سوخت‌های فسیلی و تجدید ناپذیر بودن این نوع سوخت‌ها، محققان را مجبور به یافتن منابع جدید و جایگزین برای تولید انرژی کرده است. انرژی‌های تجدیدپذیر همان‌گونه که نامشان پیداست در مناطق مختلف به شکل‌های متفاوت موجود و در دسترس بوده و آثار مثبت بسیار کم‌تری نیز بر محیط زیست خواهند داشت. کشور ایران با توجه به شرایط جغرافیایی، سرشار از منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر بوده و همگام با سایر کشورها نیازمند توسعه استفاده از آن‌هاست. بدین‌مناسبت در سال‌های اخیر استفاده از انرژی‌های نو مورد توجه قرار گرفته و تلاش‌های زیادی در جهت توسعه و پیمایش کاربرد آن‌ها صورت گرفته است.

با توجه به روند افزایشی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورمان و کمبود منابع کافی و جامع در این زمینه به طور عام و در زمینه انرژی باد به طور خاص، به نظر می‌رسد بر آن شدیم تا با ترجمه این کتاب گامی هر چند کوچک در جهت غنای منابع فارسی موجود در این زمینه برداریم. مطالعه این کتاب به علاقه‌مندان به فعالیت در زمینه انرژی باد، دانشجویان و دانش‌آموختگان رشته‌های انرژی‌های نو توصیه می‌شود.

اگرچه در جهت رعایت امانت و سلیس بودن ترجمه بسیار سعی شده است، به طور یقین کاستی‌هایی وجود خواهد داشت که از چشم خوانندگان پوشیده نخواهد ماند. این وجود امیدواریم با انعکاس نظرها، پیشنهادها و انتقادهای سازنده خود ما را در هر چه پربارتر نمودن صحنه ترجمه فارسی یاری کنند.

در مورد نویسنده

دکتر پرامد جین^۱، بنیان‌گذار و رئیس شرکت مهندسان مشاور نوآوران انرژی باد^۲ (یک شرکت مهندسان مشاور در زمینه) انرژی است. او به عنوان یک متخصص جهانی در برنامه‌ریزی پروژه‌های بادی شناخته شده و در پروژه‌های واقع در ایالات متحده آمریکا، کارائیب^۳ و آمریکای لاتین کار کرده است که پروژه‌هایی با تنه‌ها یک توربین ۱۰۰ کیلوواتی تا مزارع بادی بیش از ۱۰۰ مگاواتی را دربر می‌گیرد. او در پروژه‌های بادی با مشتریان متفاوت، از جمله ۱۰۰ شرکت فورچن^۴، دولت آمریکا، دانشگاه صنایع^۵، شهرداری‌ها^۶ و توسعه‌دهندگان زمین^۷ کار کرده است. وی مؤسس و کارشناس ارشد در شرکت مشاور و انجمن قرارداد انرژی باد^۸ بوده است. او دارای مدرک دکتری مهندسی مکانیک از دانشگاه برکلی^۹، فوق‌لیسانس کارشناسی ارشد از دانشگاه کنتاکی لکسینگتون^{۱۰} و کارشناسی از مؤسسه فناوری هند^{۱۱} در بمبئی است.

1. Pramod Jain
2. Innovative Wind Energy
3. Caribbean
4. Fortune 100 Companies

(صد شرکتی که در رأس اقتصاد آمریکا قرار دارند و روی هم رفته پنج میلیون نفر را تحت استخدام خود دارند)

5. Utilities
6. Municipalities
7. Land Developers
8. Wind Energy Consulting and Contracting
9. University of California, Berkeley
10. University of Kentucky, Lexington
11. Indian Institute of Technology

من از دوران تحصیلات تکمیلی به نوشتن مقاله‌های کوتاه فنی علاقه‌مند بودم، اما در آن هیچ مهارتی نداشتم. در آن روزها چیزهای به ظاهر سنگینی می‌نوشتم و تصور می‌کردم که مخاطبانی که من در ذهن خود دارم، در آن زمینه متخصص هستند. وقتی که برای مخاطبان شرکت‌ها نوشتم، این نگارش تغییر کرد. زمانی که وارد تجارت باد شدم، به طور منظم به نوشتن مقاله‌های ساده^۱ و وب‌نوشت^۲ می‌پرداختم اما هیچ وقت به نوشتن کتاب نمی‌اندیشیدم. ایده تألیف این کتاب از طرف دوست عزیزم ساتیا کوماتینی^۳ نویسنده کتاب‌هایی در مورد اندروید^۴ به ذهنم رسید. او مرا به ارسال یک پیشنهاد در مورد کتاب مک‌گرو-هیل^۵ تشویق کرد. این امر منجر به یک ماجراجویی نه ماهه برای من شد. بهترین تجربه برای من در این ماجراجویی این است که نوشتن یک کتاب شبیه به روند نه ماهه بارداری و به دنیا آوردن اولین فرزند است. اگرچه من به طور شخصی آن را تجربه نکرده‌ام، اما با شخصی زیسته‌ام که آن را تجربه کرده است. این هیجان‌انگیز، ناراحت‌کننده، دردناک و گاهی بسیار دردناک است و درنهایت حاصل آن سبزه‌بفراش کردن آن درد می‌شود.

انگیزه نوشتن این کتاب، عدم وجود منابعی مورد نظر مهندسان در بازار است. خصوصاً می‌خواستم کتابی تألیف کنم که اطلاعات کافی را در حوزه چند رشته‌ای انرژی باد در اختیار یک مهندس از هر رشته‌ای قرار دهد. این کتاب به منظور فراهم کردن شناختی کامل و منطقی از حوزه انرژی باد، حداقل پنج رشته را دربر می‌گیرد. این پنج رشته شامل هواشناسی، مهندسی مکانیک، حمل و نقل هوایی، مهندسی عمران، مهندسی برق و مهندسی سیستم‌ها است. علاوه بر این رشته‌های اصلی مهندسی، این کتاب دارای فصل‌هایی در رابطه با دو رشته مرتبط با تجارت اقتصاد و مدیریت پروژه است، که رشته‌های کلیدی برای انرژی باد هستند.

من با این تصور این کتاب را نوشتم که مخاطبان من افراد زیر هستند: در رتبه اول مهندسان و محققان حیطه صنعت باد که در عمل در بخش محدودی از صنعت که مرتبط با تخصص آن‌ها است را، فعالیت می‌کنند. در درجه دوم مهندسان و محققانی که می‌خواهند وارد صنعت باد شوند و سوم دانشجویان مهندسی و دانشجویان دانشگاه‌های فنی که می‌خواهند درباره موضوع‌های مرتبط با

1. White Papers
2. Weblog
3. Satya Komatineni
4. Android
5. McGraw-Hill

مهندسی انرژی باد بیاموزند. درنهایت سایر مخاطبان شامل تجار و مدیران پروژه‌ای هستند که در صنعت انرژی باد کار می‌کنند.

مهندسان به جزئیات کافی درباره هر یک از عناوین یاد شده دست خواهند یافت. من ریاضی را در سطحی بیان کردم که برای یک مهندس، ساده و مناسب خواهد بود. در بخش‌هایی که نیازمند ریاضیات پیچیده‌ای است، تلاش کردم که جزئیات روابط را ارائه دهم.

هرآنچه هر تلاش دیگری، باید تصمیم‌هایی درباره اینکه کتاب شامل چه مباحثی باشد و اینکه از ذکر چه مباحثی صرف‌نظر شود می‌گرفتم. تصمیم گرفتم که از مباحث مربوط به تغییر اقلیم و سیاست انرژی صرف‌نظر کنم. اگرچه این مباحث برای ایجاد یک ذهنیت کامل ضروری هستند، اما من واجد شرایط لازم برای نوشتن درباره این مباحث نیستم. هرچا که لازم بوده، به طور خلاصه در مورد این دو موضوع بحث شده است. این کتاب یک راهنمای طراحی مهندسی برای توربین‌ها نیست. توضیح‌های مربوط به توربین‌ها محدود به توصیف اجزای اصلی و عملکرد آنهاست و پیچیدگی محاسبه‌های نیروها و جابه‌جایی‌ها و یا طراحی و مهندسی اجزا را پوشش نمی‌دهد.

این کتاب با شرح خلاصه‌ای از تجارت انرژی باد با تأکید بر رشد سریع صنعت انرژی باد شروع می‌شود. اگرچه حفظ چنین نرخ رشد برای مدت‌های طولانی دشوار است، باور دارم که صنعت انرژی باد در ده سال آینده رشدی پایدار با نرخ ۱۵-۲۰ درصد را تجربه خواهد کرد. براساس این برآورد محافظه‌کارانه، مهندسان، مکانیک‌ها، دانشمندان، مدیران پروژه و سرمایه‌دارانی برای سال‌های آینده مورد نیاز خواهند بود.

فصل دوم کتاب مفهوم انرژی و توان، نوع و مقدار انرژی موجود در باد و مقدار انرژی قابل دریافت به وسیله توربین بادی را معرفی می‌کند.

فصل سوم ویژگی‌های مزرعه بادی از دیدگاه هواشناسی را شرح می‌دهد. این فصل با شرح نحوه پیدایش باد شروع می‌شود. در ادامه ماهیت آماری سرعت باد و ارتفاع و سرعت باد بیان می‌شود. درنهایت این فصل، وابستگی انرژی باد به چگالی هوا و وابستگی چگالی هوا به دما، فشار و رطوبت را نتیجه می‌گیرد.

فصل چهارم مکانیک نحوه تبدیل انرژی باد به انرژی مکانیکی را با استفاده از آیرودینامیک پرها شرح می‌دهد که برای هرک عملکرد توربین بادی درخور اهمیت است.

فصل پنجم جزئیات بیش‌تری از آیرودینامیک پرها و نحوه تولید منحنی‌های عملکرد توان توربین‌ها، بیان می‌کند.

فصل ششم از علم انرژی و جریان هوا به سراغ علم اندازه‌گیری می‌رود. اندازه‌گیری سرعت باد یک گام ضروری در یک پروژه بادی است، چرا که تمام پروژه‌های با مقیاس کاربردی به آن نیاز دارند و در

اغلب مواقع، این گام زمان‌برترین است. اندازه‌گیری، یک گام کلیدی در کاهش عدم قطعیت مرتبط با عملکرد مالی یک پروژه بادی است.

فصل هفتم به ارزیابی منابع باد می‌پردازد. این یک مرحله اساسی دیگر در فاز توسعه پروژه بادی است. در این فصل، روش‌های متفاوت ارزیابی پوشش داده می‌نشوند، از روش‌های مبتنی بر داده‌های در دسترس عموم و اندازه‌گیری‌هایی غیر درجا گرفته تا روش‌هایی که داده‌های اندازه‌گیری شده در طول سه محور فضایی و زمانی را برون‌یابی می‌کنند.

در فصل هشتم، مباحث پیشرفته ارزیابی منابع باد همانند محاسبه‌های سرعت حدی باد و مدل‌سازی عرض ناهموار و پس‌باد شرح داده شده‌اند. افت‌ها و عدم قطعیت‌های مربوط به اجزای متفاوت ارزیابی منابع باد نیز در این فصل پوشش داده شده‌اند.

فصل نهم اجزای مولد توربین بادی را شرح می‌دهد. سامانه روتور، بدنه و دکل و سامانه‌های پی توصیف شده‌اند. اجزای سامانه برای انواع مختلف توربین‌های با مقیاس کاربردی شرح داده شده‌اند.

فصل دهم به جنبه الکتریکی اندازه‌گیری باد می‌پردازد. به دنبال توصیف مفاهیم اساسی الکتریسیته و مغناطیس، انواع مولدهای مورد استفاده در توربین‌های بادی شرح داده شده‌اند.

در فصل یازدهم، یکپارچگی با شبکه انتقال برق بیان شده است. این فصل نحوه گنجاندن تغییرپذیری انرژی باد در شبکه، استانداردهای اجزای داخلی^۱ شبکه و سامانه‌های محافظت مورد نیاز در یک مزرعه بادی را پوشش داده است. به علاوه، چالش‌هایی^۲ متفاوت مزرعه بادی از نقطه نظر الکتریکی شرح داده شده است.

فصل دوازدهم آثار زیست‌محیطی پروژه‌های بادی را بررسی می‌دهد. این فصل با بررسی زمینه‌ای برای مزیت نسبی بر سوخت فسیلی شروع می‌شود. در این فصل هر یک از آثار زیست‌محیطی شامل حیات وحش، صدا، زیبانشناختی، چشمک زدن سایه^۳ و سایر آثار^۴ بررسی شده‌اند. به علاوه، اثر بر حمل و نقل هوایی، رادار و ارتباطات نیز تشریح شده است.

در فصل سیزدهم مدل‌های مالی مورد استفاده برای ارزیابی پروژه‌های انرژی باد توصیف می‌شوند. در این فصل، اجزای متفاوت درآمد، هزینه‌های سرمایه‌ای و هزینه‌های دوره‌ای^۵ بررسی شده‌اند. جزئیات اثر مشوق‌ها بر عملکرد مالی^۶ به‌خصوص مشوق‌های مالیاتی^۷ در آمریکا بیان شده‌اند. درنهایت، معیارهای عملکرد مالی مورد استفاده در پروژه‌های بادی شرح داده شده‌اند.

1. Interconnection
2. Layout
3. Shadow Flicker
4. Financial Performance

چهاردهمین و آخرین فصل، برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های بادی را شرح می‌دهد. این فصل، راهنمایی برای مدیران پروژه‌های بادی در حین توسعه، ساخت، راه‌اندازی و بهره‌برداری ارائه می‌دهد. در حین تألیف این کتاب، من مطالب بسیاری فراگرفتم. تعداد کمی از چیزهایی که در مورد آن‌ها مطمئن بودم، درست بودند و مشخص شد که بسیاری از دانسته‌های من صحیح نبودند. مشخص شد موارد بسیاری که من با اطمینان خاطر به همکاران و مشتریان توضیح داده بودم، در بهترین حالت، پر از خلأ سطحی‌نگری بودند. امیدوارم که این کتاب نقشی مشابه را در یاری شما در درک بهتر انرژی باد ارائه دهد.

پرامد جین

تقدیر و تشکر مترجمین

مترجمان کتاب حاضر لازم می‌دانند از زحمتهای بی‌دریغ خانم دکتر الهه فلاح مهدی‌پور در راستای ویراستاری ادبی و فنی کتاب حاضر تشکر و قدردانی کنند. همچنین از مساعدت سرکار خانم سمانه شعانی در طراحی جلد مجموعه حاضر که تأثیر بسزایی در معرفی مناسب کتاب داشته است، قدردانی می‌نماید.

امید بزرگ‌حداد، هیلدا کشتکار، محمدرضا جلالی

www.ketab.ir

تشکر و قدردانی مؤلف

اولین تشکر من از خانواده‌ام است. تألیف این کتاب بدون حمایت‌های همسرم شبا‌هانا^۱ و دو دختر عزیزم سوهانی^۲ و سویتا^۳ ممکن نبود. وقت زیادی از خانواده من صرف این کتاب شده است. من از حمایت و پشتیبانی که آن‌ها از صمیم قلب از من کردند، سپاسگزارم. هم‌چنین می‌خواهم از مادر و خواهرهایم ساویتا^۴ و رکا^۵ برای حمایت‌هایشان تشکر کنم.

دومین تشکر من از همکاران در شرکت مهندسان مشاور و پیمان‌کاری انرژی باد است. من از وین هیل رث^۶ که من را وارد صنعت باد کرد، از گلن مانی^۷ و از مایک استینک^۸ سپاسگزارم که به من در فروش محصولات شرکتان کمک کردند و این فرصت را در اختیار من و سایر همکاران قرار دادند تا مهارت‌هایمان را افزایش دهیم. من از پر نیلسن^۹ از ای ام دی^{۱۰} که همیشه پاسخگوی سؤال‌های عجیب من بود، بسیار ممنونم. سایر افرادی که مرا در آموختن وقایع متفاوت صنعت باد یاری دادند تیم پرینتی^{۱۱}، کرک هستون^{۱۲}، مایک تپپ^{۱۳}، کریگ وایت^{۱۴} و رالف وگنر^{۱۵} هستند.

سومین تشکر من از شرکت‌هایی است که تصاویر و داده‌هایشان را برای این کتاب به اشتراک گذاشتند که شامل: آلان هندرسون^{۱۶}، کریگ وایت^{۱۷}، ورگنت^{۱۸}، ونسیس^{۱۹}، بوش-رکسروث^{۲۰}، اس کی اف^{۲۱}، وستاس^{۲۲}، جی ای^{۲۳}، انرژی باد^{۲۴}، انجمن جهانی انرژی باد^{۲۵}، انجمن انرژی باد آمریکا^{۲۶}، آزمایشگاه ملی لارنس برکلی^{۲۷} و آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر^{۲۸} می‌باشند.

1. Shobhana
2. Suhani
3. Sweta
4. Savita
5. Rekha
6. Wayne Hildreth
7. Glenn Mauney
8. Mike Steinke
9. Per Nielsen
10. EMD
11. Tim Printy
12. Kirk Heston
13. Mark Tipp
14. Craig White
15. Ralph Wegner
16. Alan Henderson
17. P&H
18. Vergnet
19. Vensys
20. Bosch-Rexroth
21. SKF
22. Vestas
23. GE
24. WindPower Monthly
25. World Wind Energy Association
26. American Wind Energy Association
27. Lawrence Berkeley National Lab

در ادامه دوست دارم از کمیسیون بین‌المللی برق^۲ (IEC) تشکر کنم که به من مجوز تکثیر اطلاعات از چاپ سوم استاندارد بین‌المللی ۱-۴۰۰-۱ IEC۶۱۴۰۰ (۲۰۰۵) را دادند. حق نشر^۳ تمام این اقتباس‌ها^۴ از سوی IEC، ژنو^۵، سوئیس^۶ است. تمام حقوق محفوظ است. اطلاعات بیش‌تر در IEC در پیوند^۷ www.iec.ch در دسترس است. IEC هیچ‌گونه مسئولیتی در قبال جایگذاری و مفاهیمی که اقتباس‌ها و مطالب آن توسط نویسنده تکثیر شده باشد و همچنین در قبال مطالب دیگر و دقت آن ندارد. در نهایت می‌خواهم از مک‌گرو- هیل برای پذیرفتن پیشنهاد من برای کتاب و کمک به من در فرآیند ویراستاری و انتشار آن تشکر کنم.

-
1. National Renewable Energy Lab
 2. Electrotechnical Commission
 3. Copyright
 4. Extracts
 5. Geneva
 6. Switzerland
 7. Link