دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

دانشکده انرژی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک-طراحی کاربردی

عنوان پایان نامه

طراحی گیربکس توربین بادی ۲ مگا واتی

تحقیق و تدوین

امین مهدی علی نیا

استاد راهنما

دکتر سید ابراهیم موسوی ترشیزی

استاد مشاور

دکتر رضا سلامی ناصریان

مهرماه ۱۳۹۰

به نام خالق هستی

با حمد و ستایش بی حد و پایان به درگاه احدیت که

تمام توانایی‌ها از لطف و محبت و کرامت اوست

تقدیم به

پدر و مادر دلسوز و مهربانم

که همواره مرا در راه تحصیل یاری نموده و همیشه

مشوق و راهنمای من بوده‌اند

تقدیر و تشکر

سپاس و منت بی پایان، خدای بزرگ را که توفیق گام برداشتن در راه کسب علم را به من عطا کرد و هم او مرا در این راه حامی و پشتیبان بود و با تقدیر و تشکر از استاد ارجمندم، آقای دکتر سید ابراهیم موسوی ترشیزی که در انجام ، تکمیل، و پیشبرد تحقیق اینجانب را راهنمایی و مساعدت نمودند.

و همین طور از راهنمایی صمیمانه و دلسوزانه دکتر رضا سلامی ناصریان که در تمامی مراحل پروژه اینجانب را یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌نمایم.

چکیده:

امروزه با توجه به محدود بودن انرژی‌های تجدید ناپذیر، استفاده از انرژی‌های نو از جمله انرژی باد و خورشید و ... گسترش یافته است. دربعضی از کشورها تا ٪ ۳۰ انرژی برق توسط توربین‌های بادی تولید می-شود و روز به روز تولید توربین بادی به علت دسترس بودن باد و سازگار بودن با محیط زیست افزایش می‌یابد. یکی از اجزای مهم توربین بادی،گیربکس آن می‌باشد که طراحی آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از آن جایی که این گیربکس در ارتفاع نسبتا زیادی نسبت به زمین نصب می‌شود لذا دسترسی به آن مشکل بوده و باید طوری طراحی شود که برای عمر حداقل ۱۷۰۰۰۰ ساعت کار کند. که در این پروژه به طراحی گیربکس توربین بادی ۲ مگاواتی پرداخته شده است.

طراحی گیربکس توربین بادی ۲ مگا واتی هم به صورت دستی (استاندارد AGMA۶۰۰۶) و هم با نرم افزار (KISSsoft) صورت گرفته است. ابتدا طراحی کلیه‌ی قطعات (چرخ‌دنده، شفت، یاتاقان، خار) توسط نرم افزار KISSsoft انجام شده و سپس برای تأیید نتایج حل دستی با استاندارد AGMA۶۰۰۶ انجام شده است. بعد از طراحی گیربکس به مدلسازی پوسته توسط نرم افزار Solidwork پرداخته شده و برای تحلیل استحکام آن و تغییر شکل در نشیمنگاه یاتاقان‌ها از نرم افزار Ansysworkbench استفاده شده است و در آخر مدلسازی دینامیکی به صورت تحلیلی و با نرم افزار(Simdriveline) برای به دست آوردن فرکانس طبیعی صورت گرفته است.

گیربکس توربین بادی ۲ مگا واتی طراحی شده دارای وزن کل ۲۱ تن، طول ۲۸۰۰ میلیمتر و ارتفاع ۳۰۰۰ میلی‌متر بوده و برای عمر ۱۷۰۰۰۰ ساعت طراحی شده است.

فهرست مطالب

فصل اول

مقدمه‌ای بر انواع توربین بادی و گیربکس آن

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- توربین‌های محور افقی ۳

۱-۲-۱- مدل‌های مختلف توربین بادی افق ۴

۱-۲-۲- مزایای توربین بادی محور افقی ۵

۱-۳- توربین‌های محور قائم ۶

۱-۳-۱- توربین ساوینیوس ۶

۱-۳-۲- توربین H-rotor ۷

۱-۳-۳- توربین عمودی داریوس ۷

۱-۳-۴- مزایای توربین بادی عمودی ۹

۱-۳-۵- معایب توربین بادی عمودی ۱۰

۱-۴- مقایسه‌ی توربین محور افقی و محور قائم ۱۰

۱-۵- سازندگان معروف توربین بادی ۱۱

۱-۶- گیربکس مورد استفاده در توربین بادی..... ۱۴

۱-۷- معروفترین سازندگان گیربکس ۱۴

۱-۷-۱- شرکت GE ۱۵

۱-۷-۲- شرکت Hansen Transmission ۲۰
۱-۷-۳- شرکت Bosh Rexroth ۲۲
۱-۷-۴- شرکت Eichkhoof ۲۳
۱-۷-۵- شرکت Winergy ۲۴
۱-۷-۶- شرکت Moventas ۲۸

فصل دوم

معرفی استانداردها و نرم افزار طراحی گیربکس توربین باد

۲-۱- مقدمه ۳۱
۲-۲- بررسی استانداردهای طراحی ۳۱
۲-۲-۱- استاندارد AGMA-AWEA-۹۲۱-A۹۷ ..... ۳۱
۲-۲-۲- استاندارد ANSI-AGMA-AWEA۶۰۰۶-A۰۳ ..... ۳۳
۲-۳- نرم افزارهای موجود جهت طراحی گیربکس ۳۶
۲-۳-۱- Excel gear ۳۶
۲-۳-۲- Pinwheel ۳۸
۲-۳-۳- Romax wind ۴۱
۲-۳-۴- KISSsoft ۴۳

فصل سوم

طراحی چرخ‌دنده به کمک استاندارد AGMA ۶۰۰۶-A۰۳ و نرم افزار KISSsoft

۳-۱- چرخ‌دنده‌ی ساده ۴۸
۳-۲- چرخ‌دنده ی مورب ۵۴
۳-۳- چرخ‌دنده‌ی سیاره‌ای ۵۶

۳-۴- انتخاب چیدمان و آرایش مناسب چرخ‌دنده ۵۹
۳-۵- پارامترها و داده‌های اولیه ی برای طراحی ۵۹
۳-۶- طراحی چرخ‌دنده با نرم افزار KISSsoft ۶۲
۳-۶-۱- طراحی مرحله ی اول ۶۶
۳-۶-۲- طراحی مرحله‌ی دوم ۷۱
۳-۶-۳- طراحی مرحله‌ی سوم ۷۴
۳-۷- طراحی به کمک استاندارد ۷۷
۳-۷-۱- به دست آوردن ضریب اطمینان خمشی و سایشی برای مرحله‌ی سوم ۷۸
۳-۷-۱-۱- محاسبه ی ضریب اطمینان برای پینیون ۷۹
۳-۷-۱-۲- مقایسه‌ی ضرایب به دست آمده از حل دستی مرحله‌ی سوم با KISSsoft ۱۰۰
۳ -۷-۲- محاسبه‌ی ضریب اطمینان سایشی و خمشی برای مرحله‌ی دوم ۱۰۱
۳-۷-۳- محاسبه‌ی ضریب اطمینان سایشی و خمشی برای مرحله‌ی اول ۱۰۳

فصل چهارم

طراحی شفت،یاتاقان و خار با KISSsoft و طراحی پوسته

۴-۱- مقدمه ۱۰۶
۴-۲- طراحی شفت ۱۰۶
۴-۲-۱- جنس شفت ۱۰۶
۴-۲-۲- طراحی شفت با KISSsoft ۱۰۷
۴-۳- انتخاب یاتاقان مناسب ۱۱۰
۴-۴- طراحی خار ۱۱۳
۴-۵- طراحی و آنالیز پوسته ۱۱۷

۴-۵-۱- طراحی قطعات مختلف گیربکس ۱۱۷
۴-۵-۲- طراحی پوسته ۱۱۸
۴-۵-۳- تحلیل تنش پوسته ۱۲۲

فصل پنجم

مدل‌سازی دینامیکی گیربکس

۵-۱- مقدمه ۱۲۶
۵-۲- تعیین درجات آزادی ۱۲۶
۵-۳- تعیین پارامترهای فیزیکی ۱۲۹
۵-۳-۱- تعیین ممان اینرسی و سختی ۱۲۹
۵-۳-۲- تعیین میرایی ۱۳۲
۵-۴- به دست آوردن معادلات حرکت (مدل تحلیلی) ۱۳۴
۵-۵- مدل سازی به کمک نرم افزار Simdriveline ۱۳۷
۵-۵-۱- مقدمات و ابزارهای مورد استفاده در Simdriveline ۱۳۸
۵-۵-۲- نحوه‌ی مدل سازی المان‌های مختلف با ابزارهای فوق ۱۴۴
۵-۶- مقایسه‌ی نتایج حل تحلیلی و نرم افزار Simdriveline ۱۴۵
۵-۷- به دست آوردن فرکانس طبیعی ۱۵۰
۵-۷-۱- آنالیز مودال سیستم خطی ۱۵۰
۵-۷-۲- به دست آوردن فرکانس طبیعی توسط نرم افزار ۱۵۲

فصل ششم

نتیجه گیری

۶-۱- روند طراحی گیربکس و نتایج به دست آمده از طراحی ۱۵۶

۶-۲- مقایسه‌ی گیربکس طراحی شده با گیربکس‌های سازندگان معتبر ۱۶۲
۶-۳- پیشنهادها و فرضیات جدید ۱۶۳
منابع ۱۶۴

فهرست اشکال

فصل اول

شکل(۱-۱). رشد اندازه‌ی توربین بادی ۲
شکل(۱-۲). اجزای توربین بادی افقی ۳
شکل(۱-۳). توربین ساونیوس ۷
شکل(۱-۴). توربین H-rotor ۸
شکل(۱-۵). توربین داریوس ۹
شکل(۱-۶). شماتیک گیربکس مدل CP ۱/۸ ..... ۱۸
شکل(۱-۷). شماتیک گیربکس مدل ۱P ۲/۳ ..... ۱۹
شکل(۱-۸). شماتیک گیربکس مدل DP ۲/۷ ..... ۱۹
شکل(۱-۹). شمانیک گیربکس مدل ۲P ۲/۹ ..... ۲۰
شکل(۱-۱۰). شماتیکی از گیربکس ۲ مگا واتی شرکت هانسن ۲۱
شکل(۱-۱۱). شماتیکی از گیربکس شرکت Bosh Rexroth ۲۳
شکل(۱-۱۲). شماتیکی از گیربکس ۲ مگاواتی شرکت Eichkhoff ۲۴
شکل(۱-۱۳). شماتیکی از گیربکس‌های ساخت شرکت Winergy ۲۷
شکل(۱-۱۴). معرفی ۴ نوع گیربکس مهم شرکت Winergy ۲۷
شکل(۱-۱۵). گیربکس PLH-۱۴۰۰ ..... ۲۸

فصل دوم

شکل(۲-۱). ساختمان کلی نرم افزار Pinwheel ۳۸
شکل(۲-۲). نحوه‌ی وارد کردن اطلاعات به نرم افزار Pinwheel ۳۹
شکل(۲-۳). نحوه‌ی وارد کردن اطلاعات هندسی ۴۰
شکل(۲-۴). نمونه‌هایی از طراحی چرخ‌دنده، شفت، هوزینگ، یاتاقان در نرم افزار Romax ۴۲
شکل(۲-۵). وارد شدن به محیط KISSsoft ۴۴

فصل سوم

شکل(۳-۱). شماتیکی از چرخ‌دنده‌ی ساده ۴۷
شکل(۳-۲). شکل ظاهری دنده به همراه پارامترهای مربوطه ۵۱
شکل(۳-۳). پارامترهای هندسی در چرخ‌دنده‌ی ساده ۵۴
شکل(۳-۴). مدول نرمال و مدول عرضی در چرخ‌دنده‌ی مورب ۵۵
شکل(۳-۵). شماتیکی از چرخ‌دنده‌ی سیاره‌ای ۵۶
شکل(۳-۶). حالت‌های مختلف Epicyclic ۵۷
شکل(۳-۷). مشخصات چرخ‌دنده‌ی طراحی شده‌ی مرحله‌ی اول ۶۷
شکل(۳-۸). تأیید طراحی از نظر استاتیکی ۶۹
شکل(۳-۹). نحوه‌ی وارد کردن بارها ۷۰
شکل(۳-۱۰). نتایج بررسی بارگذاری متغیر مرحله‌ی اول ۷۱
شکل(۳-۱۱). نتایج بررسی بارگذاری متغیر مرحله‌ی دوم ۷۴

شکل (۳-۱۲). نتایج بررسی بارگذاری متغییر مرحله‌ی سوم ۷۷

شکل(۳-۱۳). محاسبه‌ی S و S_1 ..... ۸۵

شکل(۳-۱۴). پارامترهای هندسی لازم برای محاسبه‌ی فاکتور I ۹۰

شکل(۳-۱۵). مشخص کردن پارامترهای $\emptyset_L$ و t و u از روی دنده‌ی معادل ۹۷

فصل چهارم

شکل(۴-۱). نحوه‌ی وارد کردن اطلاعات ۱۰۸

شکل(۴-۲). تعیین مقاطع بحرانی ۱۰۹

شکل(۴-۳). محاسبه‌ی ضریب اطمینان استاتیکی و دینامیکی برای شفت ۱۰۹

شکل(۴-۴). نحوه‌ی تعیین موقعیت یاتاقان‌ها ۱۱۱

شکل(۴-۵). تعیین مقادیر نیروهای شعاعی و محوری و تعیین عمر یاتاقان‌ها ۱۱۲

شکل(۴-۶). تعیین ضریب اطمینان برای خار شفت سرعت بالا ۱۱۴

شکل(۴-۷). نحوه‌ی تعیین هزار خار برای گیر شفت سرعت پایین ۱۱۵

شکل(۴-۸). نماهای مختلف گیربکس طراحی شده در KISSsys ۱۱۶

شکل(۴-۹). مدل وارد شده از KISSsys به Solidwork ۱۱۸

شکل(۴-۱۰). نماهای محتلف از پوسته‌ی طراحی شده به همراه شکل برش خورده‌ی آن ۱۲۰

شکل(۴-۱۱). ابعاد کلی گیربکس طراحی شده ۱۲۱

شکل(۴-۱۲). توزیع تنش در پوسته ۱۲۲

شکل(۴-۱۳). ضریب اطمینان در نقاط مختلف پوسته ۱۲۳

شکل(۴-۱۴). توزیع کرنش در نقاط مختلف پوسته ۱۲۳

شکل(۴-۱۵). تغییر مکان در نقاط مختلف پوسته ۱۲۴

فصل پنجم

شکل(۵-۱). تعیین درجات آزادی مدل۱. دندانه‌ها انعطاف پذیر ۱۲۷
شکل(۵-۲). درجات آزادی مدل ۲. دندانه‌ای صلب ۱۲۸
شکل(۵-۳). مدل سازی سختی دندانه‌ها ۱۳۰
شکل(۵-۴). مدل سازی سختی دو دندانه‌ی درگیر ۱۳۰
شکل(۵-۵). مدل سازی شفت سیاره‌ها ۱۳۱
شکل(۵-۶). مشخص کردن شفت سرعت پایین ۱۳۴
شکل(۵-۷). کتابخانه‌ی ابزار در محیط Simulink ۱۳۹
شکل(۵-۸). پارامترهای مورد نیاز برای استفاده از فنر و دمپر ۱۳۹
شکل(۵-۹). پارامترهای لازم برای تعیین ممان اینرسی جرمی ۱۴۰
شکل(۵-۱۰). پارامترهای لازم برای تعیین چرخ‌دنده‌ی موازی ۱۴۱
شکل(۵-۱۱). پارامترهای مورد نیاز برای تعیین اتصال سیاره‌ای ۱۴۲
شکل(۵-۱۲). نحوه‌ی تعیین دقت حل ۱۴۳
شکل(۵-۱۳). مدار کلی مدل‌سازی گیربکس به کمک جعبه ابزار Simdriveline ۱۴۴
شکل(۵-۱۴). نحوه‌ی مدل سازی شفت انعطاف پذیر ورودی به کمک Simdriveline ۱۴۵
شکل(۵-۱۵). مقایسه‌ی پاسخ زمانی شفت سرعت پایین برای حل تحلیلی و نرم افزار در سیستم ۵ و ۱۰ درجه آزادی..... ۱۴۵
شکل(۵-۱۶). مقایسه‌ی پاسخ زمانی بازو برای حل تحلیلی و نرم افزار در سیستم ۵ و ۱۰ درجه آزادی.... ۱۴۶
شکل(۵-۱۷). مقایسه‌ی پاسخ زمانی حرکت وضعی سیاره‌ها برای سیستم ۵ و ۱۰ درجه آزادی..... ۱۴۶
شکل(۵-۱۸). مقایسه‌ی پاسخ زمانی حرکت انتقالی سیاره‌ها برای حل تحلیلی و نرم افزار در سیستم ۵ و ۱۰ درجه آزادی..... ۱۴۷
شکل(۵-۱۹). مقایسه‌ی پاسخ زمانی خورشید برای حل تحلیلی و نرم افزار در سیستم ۵ و ۱۰ درجه آزادی ۱۴۷

شکل(۵-۲۰). مقایسه‌ی پاسخ زمانی گیر مرحله‌ی دوم برای حل تحلیلی و نرم افزار در سیستم ۵ و ۱۰ درجه آزادی.....۱۴۸
شکل(۵-۲۱). مقایسه‌ی پاسخ زمانی پینیون مرحله‌ی دوم برای حل تحلیلی و نرم افزار در سیستم ۵ و ۱۰ درجه آزادی ۱۴۸
شکل(۵-۲۲). مقایسه‌ی پاسخ زمانی گیر مرحله‌ی سوم برای حل تحلیلی و نرم افزار در سیستم ۵ و ۱۰ درجه آزادی ۱۴۹
شکل(۵-۲۳). مقایسه‌ی پاسخ زمانی پینیون مرحله‌ی سوم برای حل تحلیلی و نرم افزار در سیستم ۵ و ۱۰ درجه آزادی.....۱۴۹
شکل(۵-۲۴). مقایسه‌ی پاسخ زمانی شفت سرعت بالا برای حل تحلیلی و نرم افزار در سیستم ۵ و ۱۰ درجه آزادی ۱۵۰
شکل(۵-۲۵). چگالی طیف توان برای شفت سرعت پایین در مدل ۱۰ درجه آزادی.....۱۵۲
شکل(۵-۲۶). چگالی طیف توان برای شفت سرعت پایین در مدل ۵ درجه آزادی.....۱۵۳

فصل ششم

شکل(۶-۱). شماتیکی از گیربکس طراحی شده ۱۶۱
شکل(۶-۲). شماتیکی از پوسته‌ی طراحی شده ۱۶۱
شکل(۶-۳). شکل گیربکس طراحی شده در کنار گیربکس شرکت GE و Vestas ۱۶۳

فهرست جداول

فصل اول

جدول(۱-۱). چکیده‌ای از مهمترین تفاوت‌های توربین مجور افقی و قائم ۱۱

جدول(۱-۲). مشخصات توربین Vestas-V۸۰ ..... ۱۲

جدول(۱-۳). گیربکس‌های شرکت GE ۱۵

جدول(۱-۴). لیست تولیدات شرکت هانسن و توان تولیدی آن ۲۱

جدول(۱-۵). انواع مدل گیربکس شرکت Bosh Rexroth ۲۲

جدول(۱-۶). مشخصات گیربکس ساخت شرکت Eichkhoff ۲۳

جدول(۱-۷). گیربکس‌های ساخت شرکت Winergy ۲۵

فصل دوم

جدول(۲-۱). استانداردهای طراحی استخراج شده از AGMA ۹۲۱-A۹۷ ..... ۳۲

جدول(۲-۲). استانداردهای طراحی که در ANSI-AGMA-AWEA ۶۰۰۶-A۰۳ ذکر شده ۳۳

جدول(۲-۳). ضریب اطمینان سایشی و خمشی در هر مرحله در نرم افزار Pinwheel ۴۰

جدول(۲-۴). تغییر پارامترهای هندسی توسط نرم افزار Pinwheel ۴۱

فصل سوم

جدول(۳-۱). حالت‌های مختلف Epicyclic ۵۷

جدول(۳-۲). بارگذاری متغییر گیربکس ۶۱

جدول(۳-۳). مواد مورد استفاده در چرخ‌دنده ۶۲

جدول(۳-۴). پارامترهای هندسی چرخدنده‌های طراحی شده توسط KISSsoft در مرحله‌ی اول.....۶۷

جدول(۳-۵). ضرایب اطمینان اسمی (نومینال) محاسبه شده توسط KISSsoft در مرحله‌ی اول.....۶۸

جدول(۳-۶). ضریب اطمینان استاتیکی محاسبه شده توسط KISSsoft برای مرحله‌ی اول.....۶۹

جدول(۳-۷). پارامترهای هندسی چرخدنده‌های طراحی شده توسط KISSsoft در مرحله‌ی دوم.....۷۲

جدول(۳-۸). ضرایب اطمینان اسمی (نومینال) محاسبه شده توسط KISSsoft در مرحله‌ی دوم.....۷۳

جدول(۳-۹). ضریب اطمینان استاتیکی محاسبه شده توسط KISSsoft برای مرحله‌ی دوم.....۷۳

جدول(۳-۱۰). پارامترهای هندسی چرخدنده‌های طراحی شده توسط KISSsoft در مرحله‌ی سوم.....۷۵

جدول(۳-۱۱). ضرایب اطمینان اسمی (نومینال) محاسبه شده توسط KISSsoft در مرحله‌ی سوم.....۷۶

جدول(۳-۱۲). ضریب اطمینان استاتیکی محاسبه شده توسط KISSsoft برای مرحله‌ی سوم.....۷۶

جدول(۳-۱۳). تقریب تقسیم بار در هر سیاره.....۷۸

جدول(۳-۱۴). پارامترهای هندسی لازم برای طراحی دستی مرحله‌ی سوم.....۷۹

جدول(۳-۱۵). فاکتور قابلیت اعتماد.....۹۲

جدول(۳-۱۶). تعیین مقادیر M وL وH ۹۸

جدول(۳-۱۷). مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از حل دستی مرحله‌ی سوم با نتایج KISSsoft.....۱۰۰

جدول(۳-۱۸). مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از حل دستی مرحله‌ی دوم با نتایج KISSsoft.....۱۰۲

جدول(۳-۱۹). مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از حل دستی مرحله‌ی اول با نتایج KISSsoft.....۱۰۳

فصل چهارم

جدول(۴-۱). مواد مورد استفاده در ساخت شفت ۱۰۶

جدول(۴-۲). طول و قطر شفت‌ها در مراحل مختلف ۱۱۰

جدول(۴-۳). مشخصات یاتاقان‌ها روی شفت‌های مختلف ۱۱۲

جدول(۴-۴). مشخصات خار شفت‌های سرعت بالا و شفت سرعت میانی ۱۱۴

جدول(۴-۵). مشخصات هندسی برای هزار خار در شفت سرعت پایین ۱۱۵

فصل پنجم

جدول(۵-۱). ضرایب نسبت میرایی در بخش‌های مختلف ۱۳۳
جدول(۵-۲). مقایسه‌ی میرایی به دست آمده از شفت‌های مختلف ۱۳۳
جدول(۵-۳). مشخص کردن خصوصیات فیزیکی شفت سرعت پایین ۱۳۴
جدول(۵-۴). پارامترهای دینامیکی محاسبه شده برای شفت سرعت پایین ۱۳۵
جدول(۵-۵). مقایسه‌ی فرکانس‌های طبیعی به دست آمده از روش تحلیلی و نرم افزار برای مدل ۵ درجه آزادی ۱۵۴

فصل ششم

جدول(۶-۱). هندسه‌ی دنده‌های طراحی شده در هر ۳ مرحله ۱۵۷
جدول(۶-۲). نتایج طراحی شفت‌های طراحی شده ۱۵۸
جدول(۶-۳). نتایج طراحی یاتاقان‌ها ۱۵۸
جدول(۶-۴). نتایج طراحی خار ۱۵۹
جدول(۶-۵). مقایسه‌ی فرکانس‌های طبیعی به دست آمده از نرم افزار و روش تحلیلی ۱۶۰
جدول(۶-۶). مقایسه‌ی گیربکس طراحی شده با شرکت Vestas و GE ۱۶۲

فهرست نمودارها

فصل سوم

نمودار(۳-۱). تنش‌های تماسی مجاز بر حسب سختی ۸۱

نمودار(۳-۲). محاسبه‌ی فاکتور دینامیکی ۸۳

نمودار(۳-۳). تعیین پارامتر C_{ma} ۸۶

نمودار(۳-۴). تعیین مقدار C_H ۹۱

نمودار(۳-۵). تعیین مقدار Z_N ۹۳

نمودار(۳-۶). محاسبه‌ی فاکتور K_b ۹۵

نمودار(۳-۷). تعیین مقدار تنش خمشی مجاز ۹۹

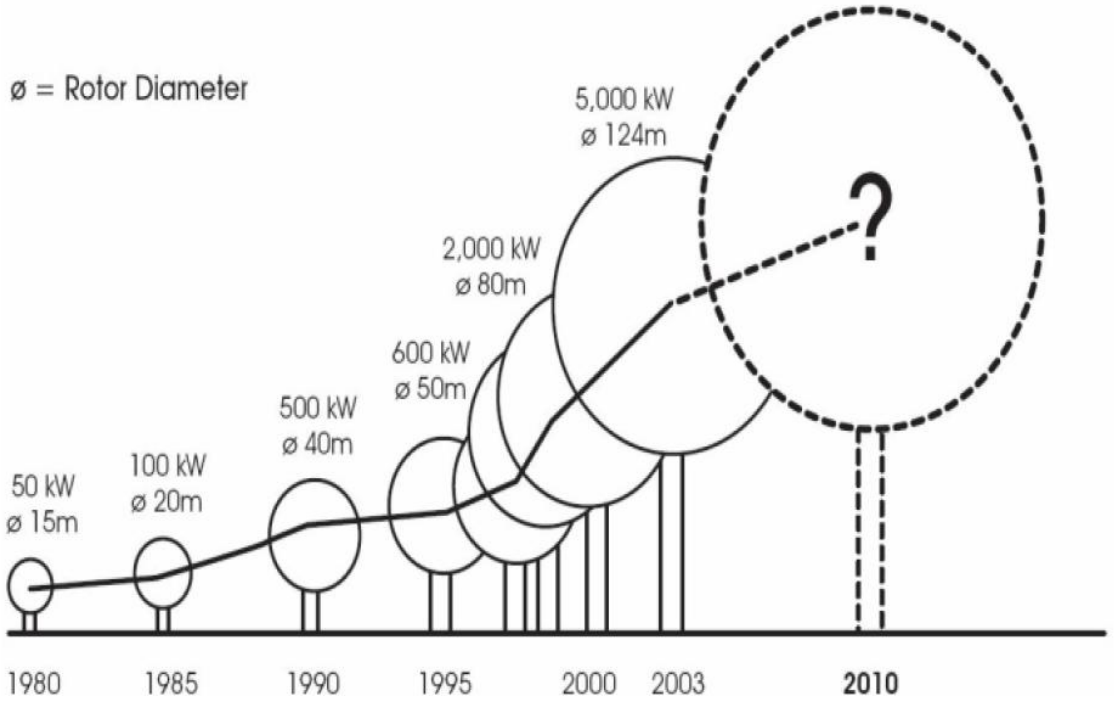
نمودار(۳-۸). محاسبه‌ی فاکتور Y_N ۱۰۰

فصل اول :

مقدمه ای بر انواع توربین بادی و گیربکس آن

۱-۱- مقدمه

انرژی باد یکی از اقتصادی ترین و مناسب‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر برای جانشینی سوخت‌های فسیلی می‌باشد. این انرژی دو مزیت اصلی دارد که خالی بودن از هر گونه آلودگی برای محیط زیست یکی از آن ها و فراوانی باد به عنوان منبع انرژی مزیت دیگر آن است. در بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، گسترش استفاده از این انرژی به منظور کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی در دستور کار قرار گرفته است. در شکل (۱-۱) چگونگی گسترش تولید و رشد اندازه‌ی توربین باد در سال‌های اخیر نشان داده شده است.



شکل(۱-۱): رشد اندازه‌ی توربین بادی [۱]

گونه‌های متعددی از انواع توربین بادی در جهان وجود دارد که می‌توان آن ها را به دو دسته از نظر چرخش محور تنظیم نمود؛ توربین با محور افقی[۱] و توربین‌های با محور قائم[۲]. عموم کارشناسان تنها توربین‌های بادی محور افقی را به عنوان توربین بادی می‌شناسند در حالی که تحقیقات وسیع انجام شده بر روی توربین بادی محورقائم در دو دهه‌ی اخیر نشان دهنده‌ی تمایل به گسترش این توربین‌ها و استفاده‌از مزایای آن است.

۱-Horizental Axis Wind Turbine (HAWT)
۲- Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)