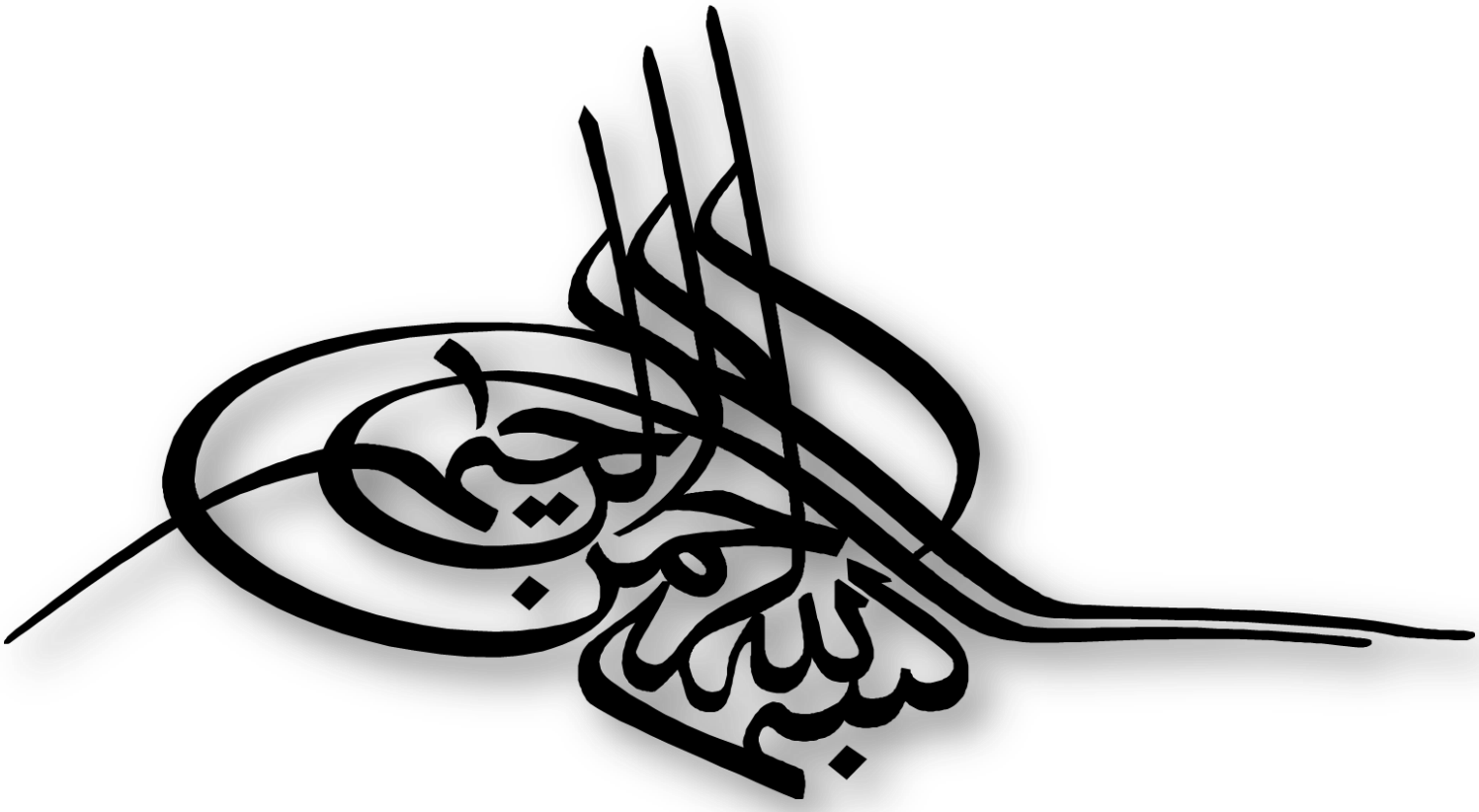
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکدهٔ مهندسی
گروه آموزشی مهندسی برق

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

عنوان:

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت در حضور نیروگاه بادی

استاد راهنما:
دکتر محمد حسن مرادی

استاد مشاور:
دکترعلیرضا حاتمی

نگارش:
مهندس محمد قاسملو

۲۸بهمن ماه ۱۳۹۱

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

……..……, **Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.**

.....، گروه .....، دانشکده .....، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

مقالات خارجی

مقالات داخلی

تقدیر و تشکر:

حال که به یاری خداوند متعال این پایان‌نامه به اتمام رسیده است بر خود لازم می‌دانم که از زحمات بی‌دریغ اساتید بزرگوارم جناب آقای **دکتر محمد حسن مرادی ودکتر علیرضا حاتمی شریف** در طی این دو سال کمال تشکر را داشته باشم و از خداوند برایشان سلامتی وتوفیق روز افزون مسئلت دارم همچنین از زحمات اساتید گرامی گروه ، **دکتر سهیل گنجه فر، دکتر سید محمد رضا طوسی و دکتر علی دیهیمی**کمال تشکر را دارم.

همچنین برخود لازم میدانم ازمدیریت محترم عامل شرکت توزیع برق استان جناب آقای**مهندس حاجی رضا تیموری** و مدیریت محترم برق رزن جناب آقای**مهندس حمید طهماسبی** که در این دوسال اینجانب را یاری نمودند کمال تشکر را داشته باشم و از خداوند متعال برایشان سلامتی و توفیق آرزومندم.

از **پدر و مادر عزیزم و همسر مهربانم** که در این چند مدت سختی‌هایی که از جانب من به آنها وارد شد را تحمل کردند نهایت تشکر را داشته و از خدای متعال طول عمر با عزت و سلامتی آنها را خواستارم.در پایان جا دارد ازسالک عارف وعالم عامل **حاج شیخ محمد بهاری**(قدس سره)یادیکنم که در تمام طول تحصیل با الهام گرفتن از نام این بزرگوارتوانستم سختی های این راه را پشت سر گذارم.

محمد قاسملو

بهمن ماه ۹۱

دانشگاه بوعلی سینا

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی

عنوان:

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت در حضور نیروگاه بادی

نام نویسنده:محمد قاسملو

نام استاد راهنما:دکتر محمد حسن مرادی

نام استاد مشاور:دکترعلیرضا حاتمی

دانشکده :فنی مهندسی	**گروه آموزشی:مهندسی برق**	
رشته تحصیلی:مهندسی برق	**گرایش تحصیلی:قدرت**	**مقطع تحصیلی:کارشناسی ارشد**
تاریخ تصویب:۹۰/۰۷/۱۸	**تاریخ دفاع:۱۳۹۱/۱۱/۲۸**	**تعداد صفحات:۹۸**

چکیده:

در این‌تحقیق به مدلسازی تولید نیروگاه بادی در شبکه های قدرت پرداخته شده است. با توجه به متغیر بودن سرعت باد، تولید نیروگاه‌های بادی با عدم قطعیت همراه خواهد بود. بنابراین مطالعات قابلیت اطمینان شبکه در حضور نیروگاه بادی نیازمند یک مدلسازی مناسب برای نیروگاههای بادی است. در این پایان نامه ابتدا مروری بر روش‌های مدل‌سازی قبلی شده است و سپس با استفاده از روشهای تحلیلی و شبیه سازی مونت کارلو ترتیبی تاثیر نیروگاه بادی بر شاخصهای قابلیت اطمینان محاسبه شده است. مزیت روش مونت کارلوی ترتیبی در مقایسه با غیر ترتیبی حفظ ترتیب زمانی در شبیه سازی است و با توجه به اینکه حفظ ترتیب زمانی در مدلسازی نیروگاه بادی از اهمیت بالایی برخوردار است روش مونت کارلوی ترتیبی جهت شبیه سازی تاثیر نیروگاه بادی مناسبتر است. در ادامه تاثیر ضریب نفوذ مختلف نیروگاه بادی در شبکه تست مورد ارزیابی قرار گرفته شده است و میزان نیروگاه بادی مناسب از لحاظ تاثیرگذاری از دید مطالعات قابلیت اطمینانی تعیین شده است. سپس جهت کاهش عدم قطعیت تولید نیروگاه بادی مدلی جهت ارزیابی تاثیر ذخیره ساز ها در مطالعات قابلیت اطمینان ارائه شده است. با توجه به اینکه در این تحقیق از شبیه سازی مونت کارلوی ترتیبی استفاده شده است، مدل ارائه شده برای ذخیره ساز مناسب با این شبیه سازی توسعه داده شده تا اینکه فرآیند شارژ و دشارژ با نرخ مشخص تاثیر خود را بر شاخص های قابلیت اطمینان بگذارد.

واژه‌های کلیدی : واحدهای بادی، شبیه سازی مونت کارلو، ذخیره سازها، قابلیت اطمینان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه صفحه**

فصل ۱-مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۳

۱-۲- مقدمه ۳

۱-۳- هدف‌ازانجام‌تحقیق ۴

۱-۴- ساختارگزارش ۴

فصل ۲- مفاهیم وروشهای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت ۵

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- مفهوم قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت ۷

۲-۳- سطوح قابلیت اطمینان ۸

۲-۳-۱- قابلیت اطمینان سطحHLI ۸

۲-۳-۲- قابلیت اطمینان سطحHLII ۹

۲-۳-۳- قابلیت اطمینان سطحHLIII ۹

۲-۴- معیارهای قابلیت اطمینا ن سیستم های قدرت ۹

۲-۵- شاخصهای ارزیابی قابلیت اطمینان ۱۹

۲-۶- مباحث پایه ای قابلیت اطمینان ۱۴

۲-۶-۱- تعریف ۱۴

۲-۶-۲- مفاهیم کلی ۱۴

۲-۶-۳- قابلیت اطمینان سیستم‌های قابل تعمیر ۱۵

۲-۷- روشهای ارزیابی قابلیت اطمینان ۱۶

۲-۷-۱- روشهای شبیه‌سازی ۱۷

۲-۷-۱-۱ روش مونت کارلوغیرترتیبی ۱۷
۲-۷-۲-۱ روش شبیه سازی مونت کارلوترتیبی ۱۸
۲-۸- روشهای تحلیلی ۲۲
۲-۹- جمعبندی ۲۴
فصل ۳- نیروگاه بادی ومدلسازی آن درمطالعات قابلیت اطمینان ۲۵
۳-۱- مقدمه ۲۷
۳-۲- تاریخچه ۲۷
۳-۳- انواع توربین های بادی ۳۰
۳-۳-۱- توربینهای بادی سرعت ثابت (نوعA) ۳۱
۳-۳-۲- توربین بادی سرعت متغیرمحدود (نوعB) ۳۱
۳-۳-۳- توربین های بادی سرعت متغیربامبدل فرکانس جزئی(نوعC) ۳۱
۳-۳-۴- توربین سرعت متغیربامبدل فرکانسی کامل (نوعD) ۳۱
۳-۴- سیستم تبدیل انرژی باد ۳۲
۳-۵- مدلسازی نیروگاه بادی درمطالعات قابلیت اطمینان ۳۳
۳-۵-۱- روش واحدچندحالته ۳۴
۳-۵-۲- روش تنظیم بار ۳۶
۳-۵-۲-۱-مدلسازی ساعت به ساعت بااستفاده ازسری زمانیARMA ۳۶
۳-۵-۲-۲-مدلسازی سرعت بادبااستفاده ازتابع توزیع احتمال ۳۸
۳-۶-جمعبندی ۳۹
فصل ٤- ذخیره ساز انرژیهای تجدید پذیر ۴۱
۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- ضرورت استفاده از ذخیره سازها درشبکه قدرت ۴۴
۴-۲-۱ تاریخچه ۴۴

۴-۲-۲-ذخیره سازه انرژی در شبکه سراسری ۴۴
۴-۲-۳ ذخیره سازه انرژی در شبکه های مستقل از شبکه سراسری ۴۶
۴-۳ انواع روشهای ذخیره سازی..... ۴۶
۴-۳-۱- باتری ۴۷
۴-۳-۱-۱-انواع باتری ها ۴۷
۴-۳-۲- ذخیره سازی هوای فشرده..... ۴۹
۴-۳-۲-۱- انواع ذخیره سازی بوسیله هوای فشرده ۵۰
۴-۳-۳-ذخیره سازچرخ طیار ۵۲
۴-۳-۴ ذخیره سازی مغناطیسی ابررسانا ۵۳
۴-۳-۵ ذخیره سازی ابر خازن ۵۳
۴-۳-۶-ذخیره سازی تلمبه ای ذخیره ای..... ۵۴
۴-۳-۷ ذخیره سازی هیدروژن..... ۵۶
۴-۳-۸ باتری های جریانی ۵۷
۴-۴ مدل سازی منابع ذخیره ساز انرژی ۵۸
۴-۵مدل سازی منابع ذخیره سازانرژی ومنابع بادی باروش مونت کارلو درمطالعات قابلیت اطمینان ۶۰
۴-۶ جمع بندی ۶۳

فصل ۵- مطالعات عددی..... ۶۵
۵-۱- مقدمه..... ۶۷
۵-۲- معرفی سیستم RBTS..... ۶۷
۵-۳- مقایسه مدل سازی سرعت باد با روش سری زمانی ARMAو روش توزیع احتمال..... ۷۰
۵-۳-۱ مدلسازی سری زمانی ARMA..... ۷۰
۵-۳-۲ مدلسازی سرعت باد با استفاده از تابع توزیع احتمال ۷۱

۵-۴-محاسبه شاخص های قابلیت اطمینان در حضور نیروگاه بادی ۷۱

۵-۵- بررسی تاثیر ضریب نفوذ های مختلف نیروگاه بادی و شاخص های قابلیت اطمینان..... ۷۳

۵-۶-ارزیابی تاثیر ذخیره‌سازها برشاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه قدرت درحضور نیروگاه بادی...۷۶

فصل ٦- نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۵

ضمیمه ۸۹

فهرست مراجع ۹۰

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول۲-۱ جدول احتمال خروج ظرفیت(COPT) ۲۳

جدول۳-۱ رتبه بندی کشورها با توجه به میزان توربین‌های بادی نصب شده ۲۹

جدول۵-۱ مشخصات واحدهای تولیدی سیستمRBTS ۶۸

جدول۵-۲شاخص‌های قابلیت اطمینان قبل از اضافه کردن نیروگاه بادی ۷۲

جدول۵-۳نتایج شاخص های قابلیت اطمینان با استفاده از روش مونت کارلو ۷۳

جدول۵-۴نتایج شاخص های قابلیت اطمینان بااستفاده از روش مونت کارلوPwind=%20 ..... ۷۷

جدول۵-۵نتایج شاخص های قابلیت اطمینان بااستفاده ازروش مونت کارلوPwind=%30 ..... ۸۰

جدول۵-۶نتایج شاخص های قابلیت اطمینان بااستفاده ازروش مونت کارلوPwind=%40 ..... ۸۲

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه ه

شکل۲-۱ سطوح سلسله مراتبی ۸

شکل۲-۲ حالات سیستم مطابق معیارسلامت ۱۱

شکل۲-۳ سطحHLIسیستم قدرت درحضورنیروگاه بادی ۱۱

شکل۲-۴تابع چگالی احتمال$Q(t)$ احتمال خرابی درمدت t ، $R(t)$ احتمال سالم ماندن بعدازt ۱۴

شکل۲-۵ نمودارفضای حالت برای سیستم تک عضوی تعمیرپذیر ۱۶

شکل۲-۶انطباق عددتصادفی بابرداراحتمال تجمعی عنصرiام ۱۸

شکل۲-۷مدلسازی وضعیت واحد iدرطول یکسال ۲۰

شکل۲-۸برهم نهی باروتولیددرشبیه سازی مونت کارلوی ترتیبی ۲۱

شکل۲-۹منحنی تداوم بار ۲۳

شکل۳-۱ پیش بینیWWEAازمیزان توربینهای بادی نصب شده ۳۰

شکل۳-۲ منحنی توان یک توربین بادی ۳۳

شکل۳-۳ تابع توزیع تجمعی سرعت باد ۳۸

شکل۴-۱ روشهای ذخیره سازی انرژی ۴۶

شکل۴-۲ شماتیک باطری سرب اسید ۴۸

شکل۴-۳شماتیک یک واحد ذخیره ساز هوای فشرده ۵۰

شکل۴-۴شماتیک اجزاء مختلف یک ذخیره کننده چرخ طیار ۵۲

شکل۴-۵شماتیک عملکرد پیل سوختی ۵۶

شکل۴-۶روندتعیین‌شارژودشارژباتری در هرساعت ۵۹

شکل۴-۷مدل سازی ذخیره ساز انرژی ومنابع بادی باروش مونت کارلودر مطالعات قابلیت اطمینان ۶۲

شکل۵-۱دیاگرام تک خطی سیستم RBTS ۶۸

شکل۵-۲منحنی بار ساعتی سیستم درطول یکسال ۶۹
شکل۵-۳منحنی تداوم بار سیستم ۶۹
شکل۵-۴پیش بینی سرعت باد با استفاده از سری زمانی ARMA ۷۰
شکل۵-۵احتمال سرعت باد ۷۱
شکل۵-۶ LOLEشبکه با ازای مقادیر مختلف بار شبکه باضریب نفوذ ۱۰درصد نیروگاه بادی ۷۲
شکل۵-۷ LOLEشبکه با ازای مقادیر مختلف بار شبکه باضریب نفوذ ۱۵درصد نیروگاه بادی ۷۲
شکل۵-۸ LOLE شبکه با ازای ضرایب مختلف نیروگاه بادی ۷۴
شکل۵- ۹LOEEشبکه با ازای ضرایب مختلف نیروگاه بادی ۷۴
شکل۵- ۱۰LOLFشبکه با ازای ضرایب مختلف نیروگاه بادی ۷۵
شکل۵- ۱۱منحنی شارژ –دشارژ ذخیره ساز ۷۶
شکل۵-۱۲ LOLEشبکه با ازای درصدهایمختلف ذخیره سازpwind=20% ۷۸
شکل۵- ۱۳ LOEEشبکه با ازای درصدهای مختلف ذخیره سازpwind=20% ۷۸
شکل۵- ۱۴ LOLFشبکه با ازای درصدهای مختلف ذخیره سازpwind=20% ۷۸
شکل۵- ۱۵ LOLEشبکه با ازای درصدهای مختلف ذخیره سازpwind=20% ۷۹
شکل۵- ۱۶ LOEEشبکه با ازای درصدهای مختلف ذخیره سازpwind=20% ۷۹
شکل۵- ۱۷ LOLFشبکه با ازای درصدهای مختلف ذخیره سازpwind=20% ۷۹
شکل۵- ۱۸ LOLEشبکه با ازای درصدهای مختلف ذخیره سازpwind=30% ۸۱
شکل۵- ۱۹ LOEEشبکه با ازای درصدهای مختلف ذخیره سازpwind=30% ۸۱
شکل۵- ۲۰ LOLFشبکه با ازای درصدهای مختلف ذخیره سازpwind=30% ۸۱
شکل۵- ۲۱ LOLEشبکه با ازای درصدهای مختلف ذخیره سازpwind=40% ۸۳
شکل۵- ۲۲ LOEEشبکه با ازای درصدهای مختلف ذخیره سازpwind=40% ۸۳
شکل۵- ۲۳ LOLFشبکه با ازای درصدهای مختلف ذخیره سازpwind=40% ۸۳

فصل۱

مقدمه

۱-۱-پیشگفتار

از آنجایی که توربین‌های بادی از مزایای بالایی از جمله عدم نیاز به سوخت، آب و نداشتن آلودگی محیط زیست برخوردار می‌باشند، استفاده از این نوع انرژی برای تامین برق در چند دهه اخیر به سرعت افزایش یافته است. با توجه به عدم قطعیت تولید این واحدها، ارزیابی‌کفایت تولید سیستم-های قدرت‌که یکی از مولفه های اصلی قابلیت اطمینان شبکه‌می‌باشداز اهمیت بالایی برخوردار است[۱].

روش‌های مختلفی برای‌پیش‌بینی و مدل‌سازی تولید نیروگاه بادی به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت استفاده شده است که از جمله می‌توان به مدل‌سازی چند حالته تولید با در نظر گرفتن توزیع احتمال مربوط به سرعت باد منطقه و سری‌های زمانیARMAاشاره کرد.

۱-۲- مقدمه

با ورود هر تکنولوژی جدید به یک مجموعه، ممکن است مزایا و مشکلات جدیدی در مجموعه ظاهر شود و مباحث جدیدی برای مطالعه و تحقیق مطرح می شود.امروزه با پیشرفت تکنولوژی و پیدایش صنایع و مصرف کنندهایی که ثابت بودن تغذیه الکتریکی برای آنها اهمیت زیادی دارد، مبحث قابلیت اطمینان در سیستمهای قدرت به طور جدی مورد توجه قرار گرفته است. قابلیت اطمینان میزان توانایی در عملکرد صحیح و بدون خطای یک سیستم را نشان‌می‌دهد.

همانطور که مشخص است سرعت باد یک پدیده کاملا تصادفی است.بسته به آب و هوا و شرایط اقلیمی،فصول و... ، سرعت باد می تواند در نوسان و غیر قابل پیش بینی باشد.نیروگاه های بادی که از انرژی باد به عنوان منبع استفاده می کنند، به دلیل متغیر بودن سرعت باد، دارای خروجی متغیری هستند.در واقع خروجی نیروگاه بادی را می توان یک خروجی احتمالاتی در نظر گرفت.

در ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه قدرت، رفتار کل مولفه های سیستم بررسی می گردد که این رفتار عموما تصادفی واتفاقی بوده و لذا مبحث احتمالات در این مقوله نقش بسزایی دارد. از آنجا که نیروگاه‌های بادی دارای خروجی احتمالی هستند، در نتیجه اثر نیروگاه‌های بادی بخوبی در مقوله ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه قدرت جای می گیرد.

برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه با حضور نیروگاه بادی، ابتدا باید یک مدل مناسب از سرعت باد و خروجی نیروگاه در اختیار داشت. تاکنون مدلهای زیادی در این مقوله تعریف شده است و با استفاده از آنها شبکه مورد تحلیل قرار گرفته است.

۱-۳-هدف از انجام تحقیق

با توجه به عدم قطعیت تولید واحدهای بادی، ارزیابی کفایت تولید سیستم‌های قدرت که یکی از مولفه‌های اصلی قابلیت اطمینان شبکه می‌باشد از اهمیت بالایی برخوردار است در این پایان‌نامه قصد داریم به ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه قدرت در حضور نیروگاه بادی بپردازیم.
نحوه مدلسازی رفتار تصادفی تولید نیروگاه بادی در مطالعات قابلیت اطمینان حائز اهمیت است.
بررسی تاثیر ضریب نفوذ مختلف نیروگاههای بادی در شبکه بر شاخصهای قابلیت اطمینان و همچنین تعیین میزان نفوذ نیروگاه بادی مناسب از دید مطالعات قابلیت اطمینانی از دیگر اهداف این تحقیق است.
یکی‌دیگر از اهداف این پایان‌نامه ارائه روش مناسب جهت ارزیابی تاثیر ذخیره‌ساز ها در مطالعات قابلیت اطمینان است. با توجه به اینکه در این تحقیق از شبیه سازی مونت کارلوی ترتیبی استفاده خواهد شد، مدل ارائه شده برای ذخیره ساز می بایست مناسب با این شبیه‌سازی توسعه داده شود تا اینکه فرآیند شارژ و دشارژ با نرخ مشخص تاثیر خود را بر شاخص های قابلیت اطمینان بگذارد.

۱-٤-ساختار گزارش

در این پایان‌نامه ابتدا در فصل ۲ کلیاتی در ارتباط با مفاهیم قابلیت اطمینان و معرفی شاخص‌های قابلیت اطمینان می‌پردازیم، سپس در ادامه به روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان می‌پردازیم.
در فصل ۳ ابتدا مقدمه‌ای در ارتباط با انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه شده است و سپس انواع توربین-های بادی معرفی می‌شود و مزیت هر کدام از توربین‌ها ذکر می‌شود.
در ادامه فصل ۳ به معرفی انواع روش‌های مدلسازی توربین‌های بادی در مطالعات قابلیت اطمینان می‌پردازیم. در فصل ۴ به معرفی انواع روش‌های ذخیره سازی می پردازیم و درادامه‌به دنبال مدلی برای منابع ذخیره ساز انرژی هستیم تا بتوان با بهره گیری از آن در مطالعات قابلیت اطمینان شبکه قدرت تاثیرات این منابع را بررسی کنیم.
درفصل ۵ نتایج شبیه‌سازی آورده می‌شود و از جنبه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌شوند.
در فصل ۶ نیز ابتدا نتیجه‌گیری کلی حاصل از این پایان‌نامه آورده می‌شود و سپس چند پیشنهاد که می‌تواند به عنوان پژوهش‌های جدید مطرح شود آورده می‌شود.

فصل ۲- مفاهیم و روش‌های ارزیابی

قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت