بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت

ارزیابی قابلیت اطمینان ترکیبی تولید و انتقال در حضور مزارع بادی

نگارنده:

عبدالجلیل پالیده

استاد راهنما:

دکتر حمیدرضا نجفی

استاد مشاور:

دکتر مریم رمضانی

زمستان ۱۳۹۰

تأییدیه هیأت داوران

(برای پایان‌نامه)

یک نسخه اصل فرم مربوطه

تقدیم

به پدر و مادر عزیزم

که همواره راهنمایی‌هایشان روشنگر راهم و دعاهایشان بدرقه راهم بوده است.

تشکر و قدردانی

ستایش خداوند لایزالی که پیشانی خضوع جز بر خاک درگاهش نتوان سایید. اکنون که با الطاف بی‌منتهایش، قطره‌ای از دریای بی‌کران علمش نصیبم شد سجدهٔ شکر به درگاهش می‌نهم و از بزرگوارانی که در به بار نشستن این پایان‌نامه مرا یاری نمودند تشکر می‌نمایم.

این پایان‌نامه ثمرهٔ تلاش و راهنمایی خردمندانهٔ جناب آقای دکتر حمیدرضا نجفی است که از صمیم قلبم از ایشان تشکر می‌نمایم. همچنین از استاد مشاورم؛ سرکار خانم دکتر مریم رمضانی کمال سپاسگزاری را دارم.

از اساتید گرانقدر؛ جناب آقای دکتر فلقی و جناب آقای دکتر گلدانی، به عنوان اساتید محترم داوری، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

صمیمانه‌ترین سپاسگزاری خود را نثار خانوادهٔ عزیزم به‌ویژه برادران بزرگوارم؛ آقای دکتر حمید پالیده و دکتر عبدالرحیم پالیده می‌کنم که دلسوزانه در این راه مرا یاری نموده‌اند.

چکیده

پس از تجدید ساختار صنعت برق، مدیریت و ارزیابی کمی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت، مورد توجه بیشتری قرار گرفته و از اهمیت روزافزونی برخوردار شده است. در این میان بررسی قابلیت اطمینان از نقطه نظر ترکیبی تولید و انتقال نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از طرفی استفاده از منابع تجدید پذیر نیز روز به روز در حال افزایش است و استفاده از مزارع بادی با توجه به امکان تولید انرژی در حجم بالاتر، ارزان‌تر بودن و دسترسی به آن در سطح جغرافیایی وسیع‌تر اهمیت پیدا کرده است. لیکن عدم قطعیت در توان تولیدی نیروگاه‌های بادی به دلیل ماهیت متغیر و نوسانی سرعت باد باعث شده که قابلیت اطمینان کل سیستم قدرت با حضور نیروگاه‌های بادی محدود شود. به همین دلیل افزایش نفوذ نیروگاه بادی باعث ریسک بالاتر در قابلیت اطمینان سیستم قدرت می‌شود.

در این پایان‌نامه مدل خروج ظرفیت یک مزرعه بادی با ترکیب روش‌های تواتر و تداوم (F&D) و مدل مارکوف با در نظر گرفتن نرخ خرابی توربین‌های بادی به تعیین شده و سپس مدل به دست آمده برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم ترکیبی تولید و انتقال به کار گرفته شده است. برای بررسی اثر حضور مزرعه‌ی بادی بر روی قابلیت اطمینان سیستم ترکیبی تولید و انتقال، شاخص‌های قابلیت اطمینان برای سیستم‌های مورد مطالعه، بدون حضور مزرعه‌ی بادی با استفاده از سه روش سرشماری حالت، مونت‌کارلو نامتوالی و تقسیم فضای حالت محاسبه شده سپس مقایسه‌ای بین سه روش ذکر شده از نظر تعداد حالت‌های شمارش شده برای ارزیابی قابلیت اطمینان انجام شده است. در ادامه با اتصال مزرعه بادی به هر یک از سیستم‌های مورد مطالعه، شاخص‌های قابلیت اطمینان با استفاده از سه روش مذکور محاسبه شده است و با حالت بدون مزرعه‌ی بادی مقایسه شده‌اند. در این پایان نامه اثر تعداد حالت‌های انتخابی برای مدل کردن توان خروجی مزرعه‌ی بادی بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم ترکیبی تولید و انتقال نیز مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تاثیر پارامترهای مختلف مزرعه بادی شامل، افزایش ضریب نفوذ بادی، مکان اتصال مزرعه بادی برروی این شاخص‌ها بحث و بررسی شده‌اند.

کلید واژه‌ها: روش سرشماری حالت، روش مونت‌کارلو، سیستم ترکیبی تولید و انتقال، قابلیت اطمینان، مزرعه‌ی بادی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... و

فهرست جدول‌ها ..... ز

فهرست شکل‌ها ..... ی

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۱-۱- تاریخچهٔ تولید توان بادی ۲

۱-۲- سوابق تحقیق ۴

۱-۳- هدف از انجام پایاننامه ۷

۱-۴- نوآوری پایان نامه ۷

۱-۵- ساختار پایان نامه ۸

فصل ۲- معرفی روش‌های موجود برای ارزیابی قابلیت اطمینان ۹

۲-۱ تعریف قابلیت اطمینان ۹

۲-۱-۱- قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری ۱۰

۲-۱-۲- تابع‌های کلی قابلیت اطمینان ۱۰

۲-۱-۲-۱- تابع نرخ خرابی ۱۳

۲-۱-۳- مفاهیم آهنگ تغییر حالت ۱۴

۲-۲- مدل‌های خرابی تجهیزات سیستم ۱۶

۲-۲-۱ مدل خروج‌های مستقل ۱۶

۲-۲-۲- مدل خروج‌های وابسته ۱۸

۲-۳- روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های ساده ۱۹

۲-۳-۱- کانولوشن احتمال ۱۹

۲-۳-۲- شبکه سری و موازی ۲۰

۲-۳-۲-۱- شبکه‌ی سری ۲۰

۲-۳-۲-۲- شبکه‌ی موازی ۲۲

۲-۳-۳- مدل مارکوف ۲۴

۲-۳-۴- روش تواتر و تداوم ($F \& D$) ۲۷
۲-۳-۴-۱- تواتر وقوع مجموعه‌ای از حالت‌ها ۲۸
۲-۳-۴-۲- میانگین تداوم هر حالت ۲۸
۲-۳-۴-۳- میانگین تداوم مجموعه‌ای از حالتها ۲۹
۲-۴- روش‌های بررسی سیستم‌های پیچیده ۲۹
۲-۴-۱- روش سرشماری حالت ۲۹
۲-۴-۲- شبیه‌سازی مونت‌کارلو ۳۴
۲-۴-۲-۱- شبیه سازی مونت‌کارلو نامتوالی ۳۵
۲-۴-۲-۲- شبیه‌سازی مونت‌کارلو متوالی ۳۷
۲-۴-۳- روش‌های ترکیبی و ابتکاری ۳۹
۲-۴-۳-۱- استفاده از الگوریتم ژنتیک ۴۰
۲-۴-۳-۲ هرس کردن فضای حالت ۴۱
۲-۴-۳-۱ تقسیم فضای حالت (SSP) ۴۲
۲-۵- نتیجه‌گیری ۴۳

فصل ۳- مدل‌سازی مزرعه بادی برای مطالعات قابلیت اطمینان ۴۴

۳-۱- مقدمه ۴۴
۳-۲- انواع توربین‌های بادی ۴۴
۳-۲-۱- نوع A ؛ توربین‌های بادی سرعت ثابت ۴۵
۳-۲-۲- نوع B ؛ توربین بادی سرعت متغیر محدود ۴۵
۳-۲-۳- نوع C ؛ توربین‌های بادی سرعت متغیر با مبدل فرکانسی جزئی ۴۶
۳-۲-۴- نوع D؛ توربین‌های بادی متغیر با مبدل فرکانسی کامل ۴۶
۳-۳- کنترل توان در توربین بادی ۴۸
۳-۴- مدل‌سازی توان خروجی توربین بادی بر حسب سرعت باد ۴۸
۳-۵- مدل احتمالی توان خروجی برای یک توربین بادی ۵۰
۳-۶- مدل احتمالی توان خروجی مزرعه‌ی بادی ۵۶
۳-۷- نتیجه‌گیری ۶۱

فصل ۴- ابزارها و روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان ترکیب تولید و انتقال سیستم قدرت مورد استفاده در این پایان‌نامه ۶۲

۴-۱- بخش‌های مختلف مطالعات قابلیت اطمینان سیستم قدرت ۶۲

۴-۲- تقسیم‌بندی یک سیستم قدرت در مطالعات قابلیت اطمینان ۶۳
۴-۲-۱- سطح HLI ۶۴
۴-۲-۲- سطح HLII ۶۵
۴-۲-۳ سطح . HLIII ۶۵
۴-۳- مفهوم قابلیت اطمینان ترکیبی تولید و انتقال ۶۵
۴-۴- روند کلی ارزیابی قابلیت اطمینان ترکیبی تولید و انتقال ۶۶
۴-۴-۱- مدل‌های خرابی عناصر و منحنی بار ۶۶
۴-۴-۱-۱ مدل خرابی عنصر ۶۶
۴-۴-۱-۲- مدل‌های بار ۶۷
۴-۴-۲- انتخاب حالت‌های سیستم ۶۹
۴-۴-۳- تحلیل پیشامد ۶۹
۴-۴-۳-۱- روش پیشنهادی برای تشخیص جزیره‌ها در سیستم قدرت با استفاده از ساختار شبکه ۷۰
۴-۴-۳-۲- پخش‌بار ۷۴
۴-۴-۳-۳ پخش بار بهینه(OPF) ۷۵
۴-۴-۴- شاخص‌های سیستم و نقاط بار ۷۷
۴-۴-۴-۱ شاخص‌های نقاط بار ۷۸
۴-۴-۴-۲- شاخص‌های سیستم ۸۰
۴-۵ روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم ترکیبی تولید و انتقال ۸۲
۴-۵-۱- روش سرشماری حالت ۸۲
۴-۶- ارزیابی قابلیت اطمینان ترکیبی تولید و انتقال سیستم قدرت با روش مونت‌کارلو نامتوالی ۸۳
۴-۷- ارزیابی قابلیت اطمینان ترکیبی تولید و انتقال سیستم قدرت با روش SSP ۸۵
۴-۷-۱ روش FST ۸۵
۴-۷-۲- محاسبه‌ی ثابت همگرایی در روش SSP ۸۵
۴-۸ نتیجه‌گیری ۸۸

فصل ۵- نتایج عددی ۸۹

۵-۱- معرفی شبکه‌های مورد مطالعه ۸۹
۵-۱-۱- سیستم آزمونRBTS ۸۹
۵-۱-۲- سیستم آزمونIEEE-RTS ۹۰
۵-۲- ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمونRBTS بدون حضور نیروگاه بادی ۹۱

۵-۲-۱- مطالعه اول: ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمونRBTS بدون حضور نیروگاه بادی با روش سرشماری حالت..... ۹۱
۵-۲-۲- مطالعه دوم : ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمونRBTS بدون حضور نیروگاه بادی با روش مونت‌کارلو و مقایسه آن با روش سرشماری حالت..... ۹۳
۵-۲-۳- مطالعه سوم : ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمونRBTS بدون حضور نیروگاه بادی با روش SSP..... ۹۶
۵-۳- ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمونRBTS در حضور نیروگاه بادی ۹۹
۵-۳-۱- مطالعه اول: ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمونRBTS در حضور نیروگاه بادی با روش سرشماری حالت و بررسی تأثیر تعداد حالت‌های انتخابی برای مدل کردن مزرعه‌بادی بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان..... ۹۹
۵-۳-۲- مطالعه دوم: ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمونRBTS در حضور نیروگاه بادی با روش مونت‌کارلو و مقایسه آن با روش سرشماری حالت..... ۱۰۳
۵-۳-۳- مطالعه سوم: ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمونRBTS در حضور نیروگاه بادی با روش SSP..... ۱۰۴
۵-۳-۴- مطالعه چهارم: بررسی سطوح نفوذ مختلف مزرعه‌بادی بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان۱۰۷
۵-۳-۵- مطالعه پنجم: بررسی تأثیر مکان اتصال مزرعه‌بادی بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان..... ۱۰۸
۵-۳-۶- مطالعه ششم: تأثیر نرخ خروج اجباری (FOR) توربین‌های بادی بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان ۱۰۹
۵-۴- ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمون IEEE-RTS بدون حضور نیروگاه بادی ۱۱۰
۵-۴-۱- مطالعه اول: ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمون-IEEE RTS بدون حضور نیروگاه بادی با روش سرشماری حالت..... ۱۱۰
۵-۴-۲- مطالعه دوم : ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمون-IEEE RTS بدون حضور نیروگاه بادی با روش مونت‌کارلو:..... ۱۱۰
۵-۴-۳ مطالعه سوم : ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمون-IEEE RTS بدون حضور نیروگاه بادی با روش SSP..... ۱۱۲
۵-۵ ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمون IEEE-RTS در حضور نیروگاه بادی ۱۱۵

۵-۵-۱- مطالعه‌ی اول: ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمون-IEEE RTS در حضور نیروگاه بادی با روش سرشماری حالت..... ۱۱۵
۵-۵-۲- مطالعه‌ی دوم: ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم آزمون-IEEE RTS در حضور نیروگاه بادی با روش مونت‌کارلوی مستقیم (DMCS)..... ۱۱۷
۵-۵-۳ مطالعه‌ی سوم: ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان ترکیبی تولید انتقال سیستم IEEE-RTS در حضور نیروگاه بادی با روش SSP..... ۱۱۹
۵-۵-۴- مطالعه چهارم: اثر تعداد حالت‌های انتخابی برای مدل کردن توان خروجی مزرعه‌ی بادی بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه IEEE-RTS..... ۱۲۲
۵-۵-۵ مطالعه پنجم: بررسی مکان اتصال مزرعه بادی بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه IEEE-RTS ۱۲۲

فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۱۲۴

6-1- نتیجه‌گیری ۱۲۴
۶-۲- پیشنهادات..... ۱۲۵

واژه نامه فارسی به انگلیسی..... ۱۳۹

واژه نامه انگلیسی به فارسی..... ۱۴۳

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
متوسط زمان خرابی سیستم	m
متوسط زمان تا تعمیر	r
نرخ خرابی واحد	λ
آمادگی	A
ناآمادگی	U
نرخ تعمیر واحد	μ
نرخ خروج به ظرفیت بالاتر	λ_{+}
نرخ خروج به ظرفیت پایین‌تر	λ_{-}
احتمال منفرد	p
تواتر منفرد	f
تقسیم فضای حالت	SSP
مونت‌کارلوی مستقیم	DMC
میانگین	μ_t
تابع خودهمبستگی	ρ_k
ضریب عملکرد توربین	C_p
روش مرتب سازی سریع	FST
روش سرشماری حالت	SEM
سرعت نامی	v_r
سرعت شروع تولید توان	v_{Cin}
سرعت نهایی تولید توان	v_{Co}
تعداد توربین‌ها	N_t
چگالی هوا	ρ

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ جدول پیشامدهای مختلف ۳۰
جدول ۳-۱ COPT یک واحد توربین بادی ۲ مگاوات با در نظرگرفتن ۲ حالت خروجی توربین بادی.. ۵۴
جدول ۳-۲ COPT یک واحد توربین بادی ۲ مگاوات با در نظرگرفتن ۳ حالت خروجی توربین بادی.. ۵۴
جدول ۳-۳ COPT یک واحد توربین بادی ۲ مگاوات با در نظرگرفتن ۴ حالت خروجی توربین بادی.. ۵۴
جدول ۳-۴ COPT یک واحد توربین بادی ۲ مگاوات با در نظرگرفتن ۶ حالت خروجی توربین بادی.. ۵۵
جدول ۳-۵ COPT یک واحد توربین بادی ۲ مگاوات با در نظرگرفتن ۸ حالت خروجی توربین بادی.. ۵۵
جدول ۳-۶ COPT یک واحد توربین بادی ۲ مگاوات با در نظرگرفتن ۱۰ حالت خروجی توربین بادی ۵۶
جدول ۳-۷ COPT دو حالته یک مزرعه بادی دارای ۵ توربین ۲ مگاوات ۵۸
جدول ۳-۸ COPT سه حالته یک مزرعه بادی دارای ۵ توربین ۲ مگاوات ۵۹
جدول ۳-۹ COPT چهار حالته یک مزرعه بادی دارای ۵ توربین ۲ مگاوات ۵۹
جدول ۳-۱۰ COPT شش حالته یک مزرعه بادی دارای ۵ توربین ۲ مگاوات ۵۹
جدول ۳-۱۱ COPT هشت حالته یک مزرعه بادی دارای ۵ توربین ۲ مگاوات ۶۰
جدول ۳-۱۲ COPT ده حالته یک مزرعه بادی دارای ۵ توربین ۲ مگاوات ۶۰
جدول ۵-۱: مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان برسال شده سیستم، برای شبکه RBTS بدون حضور مزرعه‌ی بادی ۹۲
جدول ۵-۲: مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان برسال شده نقاط بار سیستم، برای شبکه RBTS بدون حضور مزرعه‌ی بادی ۹۲
جدول ۵-۳: مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان سالیانه سیستم برای شبکه RBTS بدون حضور مزرعه‌ی بادی ۹۳
جدول۵-۴: مقایسه مقادیر برسال شده شبکه RBTS بدون حضور مزرعه‌ی بادی با روش سرشماری حالت و مونت‌کارلو ۹۵
جدول۵-۵: تعداد حالت‌های بررسی شده و زمان محاسبه در روش SSP بر حسب مقادیر متفاوت α.... ۹۸
جدول۵-۶: مقادیر شاخص‌ها، تعداد حالت‌ها و زمان محاسبه مورد نیاز به ازای روش‌های متفاوت..... ۹۹
جدول۵-۷: پارامترهای خط اتصال دهنده مزرعه‌بادی به شبکه RBTS ۱۰۰

جدول۵-۸: مقادیر شاخص‌های برسال شده شبکه RBTS در حضور مزرعه‌ی بادی با روش سرشماری حالت و مونت‌کارلو ۱۰۴
جدول۵-۹: مقایسه تعداد حالت‌های بررسی شده و زمان محاسبه در روش SSP بر حسب مقادیر متفاوت α برای سیستم RBTS با حضور مزرعه‌ی بادی ۱۰۶
جدول۵-۱۰: مقایسه مقادیر شاخص‌ها، تعداد حالت‌ها و زمان محاسبه مورد نیاز به ازای روش‌های مختلف برای سیستم RBTS با حضور مزرعه‌ی بادی ۱۰۷
جدول۵-۱۱: مقادیر شاخص‌ها در سطوح نفوذ مختلف مزرعه‌ی بادی برای سیستم RBTS ۱۰۸
جدول۵-۱۲: مقادیر شاخص‌ها بر حسب مکان اتصال مزرعه‌ی بادی برای سیستم RBTS ۱۰۸
جدول۵-۱۳: مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن نرخ خروجی توربین بادی برای سیستم RBTS ۱۰۹
جدول ۵-۱۴: مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان برسال شده سیستم شبکه IEEE-RTS ۱۱۰
جدول ۵-۱۵: مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان برسال شده نقاط بار سیستم، برای شبکه IEEE-RTS ۱۱۱
جدول۵-۱۶: مقادیر شاخص‌های برسال شده شبکه IEEE-RTS بدون حضور مزرعه‌ی بادی با روش سرشماری حالت و مونت‌کارلو ۱۱۲
جدول۵-۱۷: تعداد حالت‌های بررسی شده و زمان محاسبه در روش SSP بر حسب مقادیر متفاوت α برای سیستم IEEE-RTS ۱۱۴
جدول۵-۱۸: مقادیر شاخص‌ها، تعداد حالت‌ها و زمان محاسبه مورد نیاز در روش‌های مختلف برای سیستم IEEE-RTS ۱۱۴
جدول ۵-۱۹: مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان برسال شده سیستم، برای شبکه IEEE-RTS با حضور مزرعه‌ی بادی ۱۱۵
جدول ۵-۲۰: مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان برسال شده نقاط بار سیستم، برای شبکه IEEE-RTS با حضور مزرعه‌ی بادی ۱۱۶
جدول۵-۲۲: مقادیر شاخص‌ها، تعداد حالت‌ها و زمان محاسبه مورد نیاز به ازای روش‌های سرشماری حالت و مونت‌کارلوی مستقیم برای سیستم IEEE-RTS با حضور مزرعه‌ی بادی ۱۱۹
جدول۵-۲۲: مقایسه تعداد حالت‌های بررسی شده و زمان محاسبه در روش SSP بر حسب مقادیر متفاوت α برای سیستم IEEE-RTS با حضور مزرعه‌ی بادی ۱۲۱

جدول۵-۲۲: مقایسه مقادیر شاخص‌ها، تعداد حالت‌ها و زمان محاسبه مورد نیاز در روش‌های مختلف برای سیستم IEEE-RTS با حضور مزرعه‌ی بادی ۱۲۲
جدول۵-۲۴: مقادیر شاخص‌ها بر حسب تعداد حالت‌های انتخابی برای توان خروجی مزرعه بادی در سیستم IEEE-RTS ۱۲۳
جدول۵-۲۵: مقادیر شاخص‌ها بر حسب مکان اتصال مزرعه‌ی بادی در سیستم IEEE-RTS ۱۲۳

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: ظرفیت تولید برق بادی در جهان طی سالهای مختلف [۳]. ۳
شکل ۲-۱: ارتباط بین قابلیت اطمینان و عدم قابلیت اطمینان یک سیستم [۶۲]. ۱۱
شکل ۲-۲: منحنی تغییرات نرخ خرابی قطعات الکتریکی نسبت به عمر مفید ۱۳
شکل ۲-۳: دیاگرام فضای حالت یک عنصر تعمیرپذیر ۱۵
شکل ۲-۴ میانگین زمان‌های تعمیر و خرابی عناصر سیستم ۱۶
شکل ۲-۵: تقسیم‌بندی خروج‌های مستقل ۱۷
شکل ۲-۶: دیاگرام منطقی سیستمی با دو عنصر سری ۲۱
شکل ۲-۷ معادل‌سازی سیستم سری ۲۱
شکل ۲-۸: دیاگرام منطقی سیستمی با دو عنصر موازی ۲۲
شکل ۲-۹: معادل‌سازی سیستم موازی ۲۳
شکل ۲-۱۰ دیاگرام فضای حالت دو عنصر تعمیرپذیر ۲۵
شکل ۲-۱۱ احتمال آمدن شیر در آزمایش پرتاب سکه ۳۴
شکل ۲-۱۲: ترتیب زمانی فرآیند چرخه‌ی گذر حالت دو عنصر و توالی زمانی فرآیند گذر حالت سیستم موازی در سه سال اول ۴۰
شکل ۲-۱۳ نمایش یک کروموزوم در حالتی که همه‌ی عناصر دو حالته در نظر گرفته شده‌اند ۴۱
شکل ۲-۱۴ نمایش مفهوم روش SSP ۴۲
شکل ۳-۱: اجزای اصلی یک توربین بادی ۴۴
شکل ۳-۲: توربین بادی سرعت ثابت با راه‌انداز نرم ۴۵
شکل ۳-۳: توربین بادی سرعت متغیر محدود ۴۶
شکل ۳-۴: شماتیک توربینهای بادی سرعت متغیر با مبدل فرکانسی جزئی ۴۷
شکل ۳-۵: شماتیک توربین‌های بادی متغیر با مبدل فرکانسی کامل ۴۷
شکل ۳-۶: منحنی توان- سرعت توربین بادی ۵۰
شکل ۳-۷: توالی ۱۰۰ ساعت سرعت باد ۵۱
شکل ۳-۸: توالی ۱۰۰ ساعت توان واقعی باد و توان تقریب زده شده در ۶ حالت نیمه‌ظرفیت ۵۱

شکل ۳-۹: ماتریس انتقال مربوط به یک واحد توربین بادی با در نظرگرفتن ۶ حالت خروجی توربین بادی ۵۳
شکل ۳-۱۰: مدل مارکوف برای توان خروجی یک واحد توربین بادی با در نظرگرفتن ۶ حالت خروجی توربین بادی ۵۳
شکل ۳-۱۱: مدل مارکوف مزرعه‌ی بادی ۵۷
شکل ۴-۱: زیر مجموعه قابلیت اطمینان سیستم ۶۲
شکل ۴-۲: تقسیم‌بندی یک سیستم قدرت و سطوح مختلف ارزیابی قابلیت اطمینان آن ۶۳
شکل ۴-۳: مفهوم مدل تولید ۶۴
شکل ۴-۴: مفهوم پایه در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم تولید ۶۴
شکل ۴-۵: مدل بار ساعتی در طول سال IEEE-RTS ۶۸
شکل ۴-۶: منحنی تداوم بار ۶۸
شکل ۴-۷: منحنی تداوم بار و مدل پل‌های چند سطحی آن. ۶۹
شکل ۴-۸: دیاگرام تک خطی شبکه قدرت ساده برای مثال مورد نظر ۷۱
شکل ۴-۹: روند اجرای برنامه یافتن جزیره‌ها در سیستم قدرت در هر پیشامد ۷۳
شکل ۴-۱۰: روند اجرای ارزیابی قابلیت سیستم ترکیبی تولید و انتقال با روش سرشماری حالت..... ۸۴
شکل ۴-۱۱: نمودار اجرای ارزیابی قابلیت سیستم ترکیبی تولید و انتقال با روش SSP..... ۸۷
شکل ۵-۱ دیاگرام تک خطی سیستم RBTS ۸۹
شکل ۵-۲ دیاگرام تک خطی سیستم IEEE_RTS..... ۹۰
شکل ۵-۳ نمودار همگرایی ثابت واریانس شاخص EENS سیستم RBTS در روش مونت‌کارلو ۹۴
شکل ۵-۴ تغییرات شاخص EENS بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمون RBTS..... ۹۴
شکل ۵-۵ تغییرات شاخص PLC بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمون RBTS..... ۹۴
شکل ۵-۶ تغییرات شاخص ENLC بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمون RBTS..... ۹۵
شکل ۵-۷ تغییرات شاخص ELC بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمون RBTS ۹۵
شکل ۵-۸ نمودار همگرایی ثابت واریانس در سیستم RBTS به ازای α=۰/۹۹۸ .....۹۶
شکل ۵-۹ تغییرات شاخص EENS بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمون RBTS به ازای α=۰/۹۹۸ .....۹۶
شکل ۵-۱۰ تغییرات شاخص PLC بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمون RBTS به ازای α=۰/۹۹۸ ..... ۹۷

شکل ۵-۱۱ تغییرات شاخص ENLC بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمون RBTSبه ازای α=۰/۹۹۸ ..... ۹۷
شکل ۵-۱۲تغییرات شاخص ELC بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم RBTS به ازایα=۰/۹۹۸.. ۹۷
شکل ۵-۱۳ تغییرات شاخص EENS بر حسب تعداد دسته‌های انتخابی برای مدل کردن توان خروجی مزرعه‌بادی ۱۰۰
شکل ۵-۱۴ تغییرات شاخص PLC بر حسب تعداد دسته‌های انتخابی برای مدل کردن توان خروجی مزرعه‌بادی ۱۰۰
شکل ۵-۱۵ تغییرات شاخص ELC بر حسب تعداد دسته‌های انتخابی برای مدل کردن توان خروجی مزرعه‌بادی ۱۰۱
شکل ۵-۱۶ تغییرات شاخص ENLC بر حسب تعداد دسته‌های انتخابی برای مدل کردن توان خروجی مزرعه‌بادی ۱۰۱
شکل ۵-۱۷ تغییرات زمان محاسبه بر حسب تعداد دسته‌های انتخابی برای مدل کردن توان خروجی مزرعه‌بادی ۱۰۱
شکل ۵-۱۸ مقدار شاخص EENS با حضور و بدون حضور مزرعه‌بادی ۱۰۲
شکل ۵-۱۹ مقدار شاخص PLC با حضور و بدون حضور مزرعه‌بادی ۱۰۲
شکل ۵-۲۰ مقدار شاخص EENS با حضور و بدون حضور مزرعه بادی در شین های مختلف ۱۰۲
شکل ۵-۲۱ مقدار شاخص PLC با حضور و بدون حضور مزرعه بادی در شین های مختلف ۱۰۳
شکل ۵-۲۲ نمودار همگرایی ثابت واریانس شاخص EENS سیستم RBTS با حضور نیروگاه بادی در روش مونت‌کارلو ۱۰۴
شکل ۵-۲۳ نمودار همگرایی ثابت واریانس شاخص EENS برای سیستم RBTS با حضور مزرعه‌ی بادی به ازای α=۰/۹۹۸۹ ..... ۱۰۵
شکل ۵-۲۴تغییرات شاخص EENS بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمونRBTS با حضور مزرعه‌ی بادی به ازای α=۰/۹۹۸۹ ..... ۱۰۵
شکل ۵-۲۵ نمودار همگرایی ثابت واریانس شاخص EENS سیستم IEEE- RTS در روش مونت‌کارلو ۱۱۱
شکل ۵-۲۶ تغییرات شاخص EENS بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمونIEEE-RTS ۱۱۲
شکل ۵-۲۷ نمودار همگرایی ثابت واریانس شاخص EENS برای سیستم IEEE-RTS به ازای α=۰/۹۴. ..... ۱۱۳

شکل ۵-۲۸ تغییرات شاخص EENS بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمونIEEE-RTS به ازای α=۰/۹۴ ..... ۱۱۳
شکل ۵-۲۹ نمودار همگرایی ثابت واریانس شاخص EENS سیستم IEEE-RTS با حضور نیروگاه بادی در روش مونت‌کارلو مستقیم (DMCS) ۱۱۷
شکل ۵-۳۰ تغییرات شاخص EENS بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمونIEEE-RTS با حضور مزرعه‌ی بادی در روش DMCS ۱۱۷
شکل ۵-۳۱ تغییرات شاخص PLC بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمونIEEE-RTS با حضور ۱۱۸
شکل ۵-۳۲ تغییرات شاخص ENLC بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمونIEEE-RTS با حضور مزرعه‌ی بادی در روش DMCS ۱۱۸
شکل ۵-۳۳ تغییرات شاخص ELC بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمونIEEE-RTS با حضور مزرعه‌ی بادی در روش DMCS ۱۱۸
شکل ۵-۳۴ نمودار همگرایی ثابت واریانس شاخص EENS برای سیستم IEEE-RTS با حضور مزرعه‌ی بادی به ازای α=۰/۸۹ در روش SSP ۱۲۰
شکل ۵-۳۵ تغییرات شاخص EENS بر حسب تعداد نمونه‌برداری، در سیستم آزمونIEEE-RTS با حضور مزرعه‌ی بادی به ازای α=۰/۸۹ در روش SSP ۱۲۰

فصل ۱– مقدمه

در این فصل پس از ذکر پیش‌گفتار، مروری بر مطالعات انجام گرفته در راستای این پایان‌نامه انجام شده است. سپس اهداف مورد نظر این پایان‌نامه تشریح شده است.

۱–۱– پیشگفتار

بروز خرابی در سیستم قدرت پیامدهای متنوعی را به همراه دارد که می‌توان از قطع برق مشترکین یک ناحیه کوچک تا خاموشی سراسری باشد. عواقب اقتصادی قطع عرضه انرژی صرفاً به درآمد از دست رفته-ی شرکت‌های برق و خسارت مشترکین محدود نمی‌شود و هزینه‌های غیرمستقیم تحمیلی بر جامعه را نیز شامل می‌شود. لذا امروزه ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت یکی از چالش‌های اساسی صنعت برق است[۱].

امروزه، افزایش تقاضای انرژی از یک‌طرف و کاهش منابع سوخت‌های فسیلی از طرف دیگر، سبب شده است تا تأمین انرژی از منابع تجدید پذیر به یک ضرورت تبدیل شود. افزون بر این‌ها، تشویق‌ها و حمایت‌های نهادهای حامی محیط زیست برای بکارگیری منابع انرژی تجدیدپذیر و پاک، باعث شده است تا دولت‌مردان بسیاری از کشورهای جهان، برای استفاده از این منابع انرژی، برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری کنند. از میان انرژی‌های تجدیدپذیر همچون: باد، خورشید، جزر و مد، زیست توده، زمین‌گرمایی و...، انرژی باد به‌دلیل فراوانی آن در دنیا، تجدیدپذیر بودن، توزیع گسترده در سراسر جهان و همچنین پاک بودن و عدم انتشار گازهای گلخانه‌ای، یکی از مهمترین منابع انرژی است. مزیت‌های فراوان این منبع انرژی و تبدیل آسان آن به انرژی الکتریکی سبب شده است تا هر ساله سهم آن در تولید شبکه‌های برق جهان، رشد چشمگیری داشته باشد.

همان‌طور که مشخص است باد یک پدیده کاملاً تصادفی است. بسته به آب و هوا و شرایط اقلیمی، فصول و ...، سرعت باد نوسانی و غیر قابل پیش‌بینی است. بنابراین نیروگاه‌های بادی که از انرژی باد به عنوان منبع تولید توان استفاده می‌کنند دارای خروجی متغیری هستند و تولید توان این نیروگاه‌ها در زمان‌های مختلف بطور دقیق قابل پیش‌بینی نیست.

عدم قطعیت در توان تولیدی نیروگاه‌های بادی، باعث می‌شود که قابلیت اطمینان کل سیستم قدرت با حضور نیروگاه‌های بادی محدود شود. افزایش نفوذ نیروگاه بادی باعث ریسک بالا در قابلیت اطمینان و پایداری سیستم قدرت می‌شود و همچنین بهره برداران شبکه قدرت از بابت توانایی سیستم در جذب