بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه بیرجند

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت

مدل‌سازی و ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع الکتریکی در حضور منابع تولید پراکنده تجدیدپذیر

تهیه و تنظیم:

نوید حسین‌زاده

استادراهنما:

دکترحمیدرضا نجفی

استاد مشاور:

دکتر حمید فلقی

زمستان ۱۳۹۲

تقدیم

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم، پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها، شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو، دستم را گرفتند و راه رفتن در این وادی زندگی پر فراز و نشیب را به من آموختند.

تشکر و قدردانی

جناب آقایان دکتر نجفی و دکتر فلقی، اساتید راهنما و مشاور گرامی

شما روشنایی بخش تاریکی جان هستید و ظلمت اندیشه را نور می بخشید. چگونه سپاس گویم مهربانی و لطف شما را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه سپاس گویم تأثیر علم آموزی شما را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه‌ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه شما مرا نه توان سپاس است و نه کلام وصف.

نوید حسین زاده

بهمن ماه ۱۳۹۲

چکیده

با تغییر ساختار سیستم قدرت، رشد پیوسته تقاضا و تجدید ساختار، پیش بینی می‌شود ژنراتورهای کوچک و پراکنده که با عنوان تولید پراکنده نامیده شده‌اند، نقشی کلیدی در سیستم توزیع توان ایفا کنند. علاوه بر این، در میان انواع مختلف واحدهای تولید پراکنده، واحدهای تولید پراکنده تجدیدپذیر، با دو ویژگی پاک بودن و پایان ناپذیری کلیدی برای زیربنای تغذیه انرژی رو به رشد هستند. هرچندکه طبیعت متناوب و عدم قطعیتی که همواره با منابع تجدیدپذیر همراه می‌باشد چالش‌های فنی و اقتصادی خاصی ایجاد می‌کند که باید به منظور آسان کردن به‌کارگیری این واحدها در سیستم توزیع، به طور جامع بررسی شوند. هدف از این تحقیق چالش‌هایی است که با حضور واحدهای تولید پراکنده تجدیدپذیر و افزایش سطح نفوذ آن‌ها در سیستم‌های توزیع بوجود می‌آید. در این پژوهش از روش تحلیلی برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع استفاده شده است. برای رسیدن به شاخص‌های دقیق‌تر نقاط بار و سیستم توزیع، مدل دو حالته آب و هوا در این مطالعه استفاده شده است. هم‌چنین نشان داده شده است که با اضافه کردن واحدهای تولید پراکنده و تشکیل جزایر، شاخص‌های قابلیت اطمینان نقاط بار داخل جزایر بهبود می‌یابند. در این تحقیق از فیدر چهارم شبکه تست بیلینتون برای مطالعه موردی استفاده شده است.

کلید واژه‌ها: قابلیت اطمینان، روش تحلیلی، تولید پراکنده، سیستم توزیع، مدل دو حالته آب و هوا، جزایر

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ح
فهرست جدول‌ها ..... خ
فهرست شکل‌ها ..... د

فصل ۱- مقدمه ۱
۱-۱- پیشگفتار ۱
۱-۲- پیشینه تحقیق ۲
۱-۳- نوآوری تحقیق ۳
۱-۴- ساختار تحقیق ۳

فصل ۲- قابلیت اطمینان سیستم قدرت و سیستم توزیع ۵
۲-۱- قابلیت اطمینان سیستم قدرت و نواحی وابسته به آن ۵
۲-۲- قابلیت اطمینان سیستم توزیع ۶
۲-۲-۱- مروری بر سیستم توزیع ۶
۲-۳- تعریف پیشامدهای قابلیت اطمینان ۸
۲-۳-۱- معیار ارزیابی قابلیت اطمینان ۹
۲-۳-۱-۱-معیار قطعی ۹
۲-۳-۱-۲-معیار احتمالاتی ۹
۲-۳-۱-۳-معیار Well-being ۹
۲-۴- شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم توزیع ۱۰
۲-۴-۱- شاخص‌های نقطه بار ۱۰
۲-۴-۲- شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم توزیع ۱۱
۲-۶- توزیع‌های احتمالی استاندارد ۱۴
۲-۷- ارزیابی هزینه – فایده قابلیت اطمینان سیستم توزیع ۱۵
۲-۷-۱- ارزیابی هزینه قطعی مشترک ۱۵
۲-۷-۲- شاخص‌های هزینه – فایده قابلیت اطمینان سیستم توزیع ۱۵
۲-۷-۳- مدل‌های هزینه وقفه مشترک ۱۵
۲-۸- اهمیت در نظر گرفتن آب و هوا در ارزیابی قابلیت اطمینان ۱۸
۲-۸-۱- مدل دو حالته آب و هوا ۱۸
۲-۸-۲- در نظر گرفتن نرخ خطا ۱۹
۲-۸-۳- رویکرد مرسوم ۲۰
۲-۹- قابلیت اطمینان سیستم توزیع با در نظرگرفتن منابع تولید پراکنده ۲۲

فصل ۳- ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع بدون منابع تولید پراکنده ۲۳
۳-۱- روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان ۲۳
ب – روش‌های شبیه سازی ۲۳
۳-۱-۱- یک نمونه استفاده از روش تحلیلی ۲۴
۳-۱-۲- ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم توزیع بر اساس روش کات‌ست کمینه ۲۷
۳-۱-۳- استفاده از یک مدل مارکوف برای محاسبات قابلیت اطمینان ۲۸
۳-۱-۳-۱-احتمال حالت دائم ۲۹
۳-۱-۳-۲-تواتر رخداد ۲۹
۳-۱-۳-۳-ترکیب حالت‌ها ۳۰
۳-۱-۳-۴-مدل‌های معادل سری و موازی ۳۱
۳-۱-۴- ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم توزیع با استفاده از مدل کردن مارکوف چند سطحی ۳۱
۳-۱-۴-۱-اصول روش ۳۲
۳-۱-۴-۲-مدلهای مارکوف اولیه (توپولوژی سیستم) ۳۳
۳-۱-۴-۳-مدل‌های مارکوف ثانویه (سیستم‌های حفاظتی) ۳۴
۳-۱-۴-۴-مدل‌های مارکوف ثالثیه (تجهیزات حفاظتی) ۳۴
۳-۲- روش شبیه سازی مونت کارلو ۳۶
۳-۲-۱- ایجاد اعداد تصادفی ۳۶

فصل ۴- مدل سازی منابع تولید پراکنده در این مطالعه ۳۷
۴-۱- مقدمه ۳۷
۴-۲- تعریف تولید پراکنده ۳۸
۴-۲-۱- دلیل بکاربردن تولید پراکنده ۳۹
۴-۲-۲- تکنولوژی‌های تولید پراکنده ۴۰
۴-۳- سناریوهای عملکرد DG ۴۱
۴-۳-۱- عملکرد ضد جزیره‌ای ۴۱
۴-۳-۲- سیستم جزیره‌ای ۴۲
۴-۳-۳- حالت‌های عملکرد *DG* ۴۲
۴-۴- مدل‌سازی منابع تولید پراکنده در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع ۴۵
۴-۴-۱- واحدهای تولید تجدیدپذیر ۴۶
۴-۴-۲- مدل‌سازی منابع تولید پراکنده بادی ۴۷
۴-۴-۲-۱-اهمیت توان بادی ۴۷
۴-۴-۲-۲-الگوی سرعت باد ۴۸
۴-۴-۳- مدل کردن سرعت باد با استفاده از تابع چگالی احتمال (pdf) مناسب ۴۸
۴-۴-۳-۱-مدل کردن سرعت باد با استفاده از تابع چگالی احتمال ویبول ۴۹
۴-۴-۳-۲-مدل کردن سرعت باد با استفاده از تابع چگالی احتمال رایلی ۵۱
۴-۴-۴- روش سری زمانی آرما (ARMA) برای مدل کردن سرعت باد ۵۱

۴-۵- توان خروجی توربین بادی ۵۲
۴-۵-۱- مدل‌های مختلف توان – سرعت توربین بادی ۵۳
۴-۵-۱-۱-مدل مرتبه دوم ۵۳
۴-۵-۱-۲-مدل مرتبه سوم ۵۳
۴-۵-۱-۳-مدل خطی ۵۴
۴-۶- مدل کردن تابش نور ۵۴
۴-۶-۱- مدل تابع چگالی احتمال بتا با دو مد ۵۵
۴-۶-۲- مدل شاخص تابش ۵۶
۴-۶-۲-۱-مدل کردن شاخص تابش ۵۶
۴-۶-۲-۲-توسعه مدل شاخص تابش برای کاربردهای شبیه سازی مونت کارلو ۵۹
۴-۷- توان خروجی PV ۶۰
فصل ۵- ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع با در نظرگرفتن واحدهای تولید پراکنده تجدیدپذیر ۶۳
۵-۱- مقدمه ۶۳
۵-۲- مدهای عملکرد سیستم ۶۳
۵-۲-۱- مد اتصال به شبکه ۶۳
۵-۲-۲- مد جزیره ای ۶۴
۵-۲-۳- روش تحلیلی برای ارزیابی قابلیت اطمینان ۶۴
۵-۲-۳-۱-دسته بندی تجهیزات سیستم ۶۴
۵-۲-۴- مدل دسترس پذیری عناصر سیستم ۶۵
۵-۳- مدل بار سالیانه سیستم ۶۶
۵-۴- محاسبات احتمال ایجاد جزیره ۶۶
۵-۴-۱- محاسبات احتمال موفقیت آمیزبودن جزیره ۶۸
۵-۵- محاسبات شاخص‌های قابلیت اطمینان با DG ۶۹
فصل ۶- ارزیابی قابلیت اطمینان یک شبکه نمونه ۷۵
۶-۱- سیستم تست روی بیلینتون ($RBTS$) ۷۵
۶-۱-۱- توصیف شبکه تست ۷۶
۶-۲- نواحی مختلف قابلیت اطمینان بر اساس محل قرارگیری تجهیزات حفاظتی ۷۷
۶-۳- ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه تست پسیو (بدون منابع تولید پراکنده) ۷۷
۶-۴- در نظرگرفتن آب و هوا ۹۱
۶-۵- ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه تست اکتیو (با وجود منابع تولیدپراکنده) ۹۹
فصل ۷- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات ۱۱۱
۷-۱- نتیجه گیری ۱۱۱

۷-۲- پیشنهادات..... ۱۱۱

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
نرخ میانگین خطا	λ
میانگین زمان قطعی	r
میانگین زمان قطعی سالیانه	U
تعداد مشترکین	N
میانگین	μ
واریانس	σ
پارامتر مقیاس	α
پارامتر شکل	β
معرف سرعت باد در ارتفاع توربین بر حسب متر بر ثانیه	V_T
سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری بر حسب متر بر ثانیه	V_0
ارتفاع نصب پره‌ها از سطح زمین	h_T
ارتفاع بادسنج در ارتفاع ۱۰ متری	h_0
ضریب اندازه	c
ضریب شکل‌دهی	k
پارامتر خودهمبسته	ϕ_i
پارامتر میانگین متحرک	θ_j
سرعت قطع پایین	v_{in}
سرعت نامی	v_r
سرعت قطع بالا	v_{co}
بیشینه شاخص تابش	k_{tu}
میانگین شاخص تابش	k_{tm}

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: اطلاعات بخش اصلی ۲۵
جدول ۳-۲: اطلاعات بخش جانبی و ترانس ۲۵
جدول ۳-۳: محاسبات شاخص‌های نقاط بار ۲۶
جدول ۳-۴: شاخص‌های قابلیت اطمینان نقاط بار ۲۷
جدول ۳-۵: شاخص‌های سیستم ۲۷
جدول ۳-۶: نرخ‌های خرابی و تعمیر معادل ۳۱
جدول ۴-۱: جدول احتمالاتی توربین بادی ۴۷
جدول ۴-۲: ضریب بازتاب برای پوشش‌های مختلف زمین ۵۹
جدول ۵-۱: احتمال تجمعی DG وابسته به باد در دو حالت با خرابی و بدون خرابی ۶۸
جدول ۶-۱: مقایسه شاخص‌های نقاط بار بین دوحالت با و بدون در نظر گرفتن آب و هوا ۹۹
جدول ۶-۲: مقایسه شاخص‌های زیر فیدرها و سیستم بین دوحالت با و بدون در نظر گرفتن آب و هوا ۹۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: تقسیم‌بندی قابلیت اطمینان سیستم. ۵
شکل ۲-۲: سطوح مرتبه‌ای در یک سیستم قدرت ۶
شکل ۲-۳: ساختار اصلی یک سیستم توزیع شعاعی ۷
شکل ۲-۴: نمونه‌ای از سیستم تست شعاعی ۸
شکل ۲-۵: حالت‌های Well-being مختلف مربوط به یک سیستم تولید. ۱۰
شکل ۲-۶: CDF بخش‌های خانگی و کشاورزی ۱۶
شکل ۲-۷: الگوی آب و هوایی دارای ترتیب زمانی. ۱۸
شکل ۲-۸: پروفیل آب و هوای میانگین. ۱۸
شکل ۲-۹: مدل دو حالته آب و هوا ۱۸
شکل ۲-۱۰: نمایش نرخ خرابی در مدل دوحالته آب و هوا ۱۹
شکل ۳-۱: فیدر ۱ از باس ششم RBTS ۲۴
شکل ۳-۲: چارت تصویری برای محاسبه A و f با استفاده از یک مدل مارکوف ۳۱
شکل ۳-۳: سیستم نمونه ۳۲
شکل ۳-۴: مدل مارکوف اولیه ۳۳
شکل ۳-۵: مدل مارکوف ثانویه ۳۴
شکل ۳-۶: مدل مارکوف ثالثیه ۳۵
شکل ۴-۱: عملکرد DG به‌صورت منبع توان پشتیبان ۴۴
شکل ۴-۲: دیاگرام شماتیک یک میکروگرید ساده ۴۵
شکل ۴-۳: مدل قابلیت اطمینان DG مرسوم ۴۷
شکل ۴-۴: تابع‌های چگالی احتمال ویبول با مقادیر مختلف ضرایب اندازه و شکل‌دهی ۵۰
شکل ۴-۵: تابع‌های چگالی احتمال ویبول با مقادیر مختلف ضریب اندازه c ۵۱
شکل ۴-۶: تابع‌های چگالی احتمال ویبول با مقادیر مختلف ضریب شکل‌دهی k ۵۱
شکل ۴-۷: مدل خطی توان-سرعت توربین بادی ۵۵
شکل ۴-۸: نمودار میله‌ای و تابع چگالی احتمال توزیع بتا ۵۶
شکل ۴-۹: مشخصه‌های واحد فتوولتاییک ۶۲
شکل ۵-۱: دیاگرام شماتیک یک سیستم توزیع شعاعی ۶۵
شکل ۵-۲: مفهوم ناحیه‌بندی ۶۸
شکل ۶-۱: ساختار سیستم تست *RBTS* ۷۵
شکل ۶-۲: ساختار فیدر ۴ باس ششم *RBTS* ۷۶
شکل ۶-۳: شاخص نرخ خرابی نقاط بار در سناریوی الف ۷۸

شکل ۶-۴: شاخص دسترس‌ناپذیری نقاط بار در سناریوی الف..... ۷۸
شکل ۶-۵: شاخص میانگین زمان قطعی نقاط بار در سناریوی الف..... ۷۹
شکل ۶-۶: شاخص SAIFI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی الف..... ۷۹
شکل ۶-۷: شاخص SAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی الف..... ۷۹
شکل ۶-۸: شاخص ASAI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی الف..... ۸۰
شکل ۶-۹: شاخص ASUI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی الف..... ۸۰
شکل ۶-۱۰: شاخص CAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی الف..... ۸۰
شکل ۶-۱۱: شاخص ENS نقاط بار در سناریوی الف..... ۸۱
شکل ۶-۱۲: شاخص AÉNS نقاط بار در سناریوی الف..... ۸۱
شکل ۶-۱۳: شاخص نرخ خرابی نقاط بار در سناریوی ب..... ۸۲
شکل ۶-۱۴: شاخص دسترس‌ناپذیری نقاط بار در سناریوی ب..... ۸۲
شکل ۶-۱۵: شاخص میانگین زمان قطعی نقاط بار در سناریوی ب..... ۸۲
شکل ۶-۱۶: شاخص SAIFI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی ب..... ۸۳
شکل ۶-۱۷: شاخص SAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی ب..... ۸۳
شکل ۶-۱۸: شاخص ASAI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی ب..... ۸۳
شکل ۶-۱۹: شاخص ASUI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی ب..... ۸۴
شکل ۶-۲۰: شاخص CAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی ب..... ۸۴
شکل ۶-۲۱: شاخص ENS نقاط بار در سناریوی ب..... ۸۴
شکل ۶-۲۲: شاخص AÉNS نقاط بار در سناریوی ب..... ۸۵
شکل ۶-۲۳: شاخص نرخ خرابی نقاط بار در سناریوی ج..... ۸۵
شکل ۶-۲۴: شاخص دسترس‌ناپذیری نقاط بار در سناریوی ج..... ۸۶
شکل ۶-۲۵: شاخص میانگین زمان قطعی نقاط بار در سناریوی ج..... ۸۶
شکل ۶-۲۶: شاخص SAIFI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی ج..... ۸۶
شکل ۶-۲۷: شاخص SAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی ج..... ۸۷
شکل ۶-۲۸: شاخص CAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی ج..... ۸۷
شکل ۶-۲۹: شاخص ENS نقاط بار در سناریوی ج..... ۸۷
شکل ۶-۳۰: شاخص AÉNS نقاط بار در سناریوی ج..... ۸۸
شکل ۶-۳۱: شاخص نرخ خرابی نقاط بار در سناریوی د..... ۸۸
شکل ۶-۳۲: شاخص دسترس‌ناپذیری نقاط بار در سناریوی د..... ۸۹
شکل ۶-۳۳: شاخص میانگین زمان قطعی نقاط بار در سناریوی د..... ۸۹
شکل ۶-۳۴: شاخص SAIFI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی د..... ۸۹
شکل ۶-۳۵: شاخص SAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی د..... ۹۰
شکل ۶-۳۶: شاخص CAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در سناریوی د..... ۹۰
شکل ۶-۳۷: شاخص ENS نقاط بار در سناریوی د..... ۹۰

شکل ۶-۳۸: شاخص AĖNS´ نقاط بار در سناریوی د.....۹۱
شکل ۶-۳۹: شاخص نرخ خرابی نقاط بار در شرایط آب و هوای غیر طبیعی..... ۹۱
شکل ۶-۴۰: شاخص نرخ خرابی نقاط بار در شرایط آب و هوای طبیعی.....۹۲
شکل ۶-۴۱: شاخص نرخ خرابی نقاط بار با در نظر گرفتن اثر آب و هوا..... ۹۲
شکل ۶-۴۲: شاخص میانگین زمان قطعی نقاط بار با در نظر گرفتن اثر آب و هوا..... ۹۲
شکل ۶-۴۳: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار در شرایط آب و هوای غیر طبیعی.....۹۳
شکل ۶-۴۴: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار در شرایط آب و هوای طبیعی..... ۹۳
شکل ۶-۴۵: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار با در نظر گرفتن اثر آب و هوا..... ۹۳
شکل ۶-۴۶: شاخص SAIFI زیرفیدرها و کل فیدر در شرایط آب و هوای غیر طبیعی.....۹۴
شکل ۶-۴۷: شاخص SAIFI زیرفیدرها و کل فیدر در شرایط آب و هوای طبیعی..... ۹۴
شکل ۶-۴۸: شاخص SAIFI زیرفیدرها و کل فیدر با در نظر گرفتن اثر آب و هوا.....۹۴
شکل ۶-۴۹: شاخص SAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در شرایط آب و هوای طبیعی.....۹۵
شکل ۶-۵۰: شاخص SAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در شرایط آب و هوای غیر طبیعی.....۹۵
شکل ۶-۵۱: شاخص SAIDI زیرفیدرها و کل فیدر با در نظر گرفتن اثر آب و هوا.....۹۵
شکل ۶-۵۲: شاخص CAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در شرایط آب و هوای غیر طبیعی.....۹۶
شکل ۶-۵۳: شاخص CAIDI زیرفیدرها و کل فیدر در شرایط آب و هوای طبیعی.....۹۶
شکل ۶-۵۴: شاخص CAIDI زیرفیدرها و کل فیدر با در نظر گرفتن اثر آب و هوا.....۹۶
شکل ۶-۵۵: شاخص AENS نقاط بار در شرایط آب و هوای غیر طبیعی.....۹۷
شکل ۶-۵۶: شاخص AENS نقاط بار در شرایط آب و هوای طبیعی.....۹۷
شکل ۶-۵۷: شاخص AENS زیرفیدرها و کل فیدر با در نظر گرفتن اثر آب و هوا.....۹۷
شکل ۶-۵۸: شاخص ENS نقاط بار در شرایط آب و هوای غیر طبیعی.....۹۸
شکل ۶-۵۹: شاخص ENS نقاط بار در شرایط آب و هوای غیر طبیعی..... ۹۸
شکل ۶-۶۰: شاخص ENS زیرفیدرها و کل فیدر با در نظر گرفتن اثر آب و هوا.....۹۸
شکل ۶-۶۱: شاخص نرخ خرابی نقاط بار با فرض میکروگرید شامل نقاط بار ۱۱، ۱۲ و ۱۳ جدا از شبکه.....۱۰۰
شکل ۶-۶۲: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار با فرض میکروگرید شامل نقاط بار ۱۱، ۱۲ و ۱۳ جدا از شبکه.....۱۰۰
شکل ۶-۶۳: شاخص نرخ خرابی نقاط بار با فرض میکروگرید شامل نقاط بار ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ جدا از شبکه.....۱۰۱
شکل ۶-۶۴: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار با فرض میکروگرید شامل نقاط بار ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸جدا از شبکه.....۱۰۱
شکل ۶-۶۵: شاخص نرخ خرابی نقاط بار با فرض میکروگرید شامل نقاط بار ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳جدا از شبکه.....۱۰۱

شکل ۶-۶۶: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار با فرض میکروگرید شامل نقاط بار ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳جدا از شبکه..... ۱۰۲
شکل ۶-۶۷: شاخص نرخ خرابی نقاط بار ۱۱، ۱۲ و ۱۳ (جزیره ۱)..... ۱۰۳
شکل ۶-۶۸: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ (جزیره ۲)..... ۱۰۳
شکل ۶-۶۹: اخص نرخ خرابی نقاط بار ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ (جزیره ۲)..... ۱۰۳
شکل ۶-۷۰: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ (جزیره ۲)..... ۱۰۴
شکل ۶-۷۱: شاخص نرخ خرابی نقاط بار ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳ (جزیره ۳)..... ۱۰۴
شکل ۶-۷۲: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳ (جز ۳)..... ۱۰۴
شکل ۶-۷۳: داده‌های سرعت باد منطقه مورد مطالعه..... ۱۰۵
شکل ۶-۷۴: توان خروجی توربین بادی مورد مطالعه..... ۱۰۶
شکل ۶-۷۵: مدل‌سازی تابع‌های چگالی مختلف..... ۱۰۷
شکل ۶-۷۶: شاخص نرخ خرابی نقاط بار ۱۱، ۱۲ و ۱۳ (جزی)..... ۱۰۷
شکل ۶-۷۷: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار ۱۱، ۱۲ و ۱۳ (جزیره ۱)..... ۱۰۸
شکل ۶-۷۸: شاخص نرخ خرابی نقاط بار ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ (جزیره ۲)..... ۱۰۸
شکل ۶-۷۹: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ (جزیره ۲)..... ۱۰۸
شکل ۶-۸۰: شاخص نرخ خرابی نقاط بار ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳ (جزیره ۳)..... ۱۰۹
شکل ۶-۸۱: شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳ (جزیره ۳)..... ۱۰۹
شکل ۶-۸۲: مقایسه شاخص نرخ خرابی نقاط بار جزیره ۳ قبل و بعد از نصب DG..... ۱۱۰
شکل ۶-۸۳: مقایسه شاخص دسترس ناپذیری نقاط بار جزیره ۳ قبل و بعد از نصب DG..... ۱۱۰

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

بطورکلی در چند دهه گذشته توجه کمتری به سیستم‌های توزیع نسبت به سیستم‌های تولید در مدل‌سازی و ارزیابی قابلیت اطمینان شده است. دلایل اصلی این موضوع این است که نیروگاه‌های تولید برق به تنهایی بسیار هزینه‌بر هستند و عدم کفایت تولید می‌تواند حوادث جبران ناپذیری برای جامعه و منطقه به همراه داشته باشد. در نتیجه، به تامین کفایت و احتیاجات این بخش از سیستم قدرت بسیار تاکید شده است؛ اما سیستم توزیع، نسبتا ارزان است و قطعی‌های آن تاثیر محلی دارند؛ بنابراین تلاش کمی برای ارزیابی کمی کفایت طرح‌های مختلف و تقویت آن‌ها تخصیص داده می‌شود. از طرف دیگر، تحلیل آماری خرابی مشترکین اکثر شرکت‌های برق نشان می‌دهد که سیستم توزیع بیش‌ترین سهم را در عدم دسترسی مشترک به منبع تغذیه دارد.

اطمینان از ایجاد تعادل قابل قبول بین قابلیت اطمینان بخش‌های متعدد سیستم قدرت یعنی تولید، انتقال و توزیع ضروری است. مقایسه کمی بین مزیت هر کدام از طرح‌ها یا مقایسه تاثیر مقدار مبلغ صرف شده در آن‌ها بدون ارزیابی کمی قابلیت اطمینان ممکن نخواهد بود. هم‌اکنون این مسائل کاملا مشخص بوده و شرکت‌های زیادی در سراسر جهان با آن‌ها آشنا هستند و به طور معمول روش‌های کمی قابلیت اطمینان را بکار می‌برند. به طور همزمان، روش‌های ارزیابی زیادی مرتبا در حال تعمیم و توسعه‌اند بطوری‌که رشد سریع تعداد مقالات انتشار یافته در این بخش گواه این امر است.

شناسایی این‌که از چه سالی اهمیت ارزیابی کمی قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع آشکار گردید چندان آسان نیست چرا که روش‌های مورد استفاده ابتدایی، با کمترین تغییر یا بدون هیچ تغییری بر اساس روش‌های کلاسیک سیستم‌های سری و موازی بنا شده بودند؛ اما بیش‌ترین اقدام در سال‌های ۶۵-۱۹۶۴ زمانی که یک سری مقالات انتشار یافته و روشی بر اساس روابط تقریبی برای تعیین نرخ و مدت تداوم خاموشی‌ها پیشنهاد داده بودند، انجام گرفت. این روش، پایه و نقطه آغاز اغلب توسعه‌های بعدی و مدرن‌تر را تشکیل داده‌اند [۱].

یک سیستم قدرت الکتریکی، نیازمند تغذیه برق به مشترکان با پیوستگی و کفایت قابل قبول و تا حد ممکن اقتصادی می‌باشد. قابلیت اطمینان سیستم می‌تواند با یک افزایش در سرمایه‌گذاری در مراحل برنامه‌ریزی و بهره‌برداری با بهبود سیستم موجود و توسعه زیرساخت‌های جدید افزایش یابد. علاوه بر این، سرمایه‌گذاری بیش از حد می‌تواند منجر به عملکرد غیراقتصادی سیستم قدرت شود مانند هزینه‌های عملکرد بیشتر که باید در تعرفه‌ها منعکس شود.

سرمایه‌گذاری‌های مرتبط با قابلیت اطمینان سیستم الکتریکی نیازمند ارزیابی برحسب مفاهیم هزینه – فایده سیستم می‌باشد. این شکل از ارزیابی به تحلیل قابلیت اطمینان هزینه – فایده اشاره دارد و به تعیین تعادل بین سرمایه‌گذاری و قابلیت اطمینان سیستم کمک می‌کند. روش‌ها و معیارهای مناسبی

وجود دارد که برای ارزیابی بهتر قابلیت اطمینان سیستم قدرت در طول چند دهه گذشته توسعه یافته‌اند. به طور کلی، این روش‌ها می‌تواند به روش‌های قطعی و احتمالاتی دسته‌بندی شود.

در ابتدا، روش‌های قطعی، برای ارزیابی قابلیت اطمینان اجرا شدند و تعدادی از آن‌ها، امروزه نیز رایج می‌باشند. هر چند روش‌های قطعی به سبب ذات تصادفی رفتار سیستم، تقاضای مشترکین و نرخ خطای عناصر نمی‌تواند این عدم قطعیت‌ها را پوشش دهد. روش‌های احتمالاتی با تواتر یک پیشامد و احتمال وقوع آن برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت سر و کار دارد. این روش‌ها به طور وسیعی در بخش‌های طراحی، برنامه‌ریزی و نگهداری با افزایش ابزار محاسباتی و موجود بودن اطلاعات قابلیت اطمینان مناسب، توسعه یافته و اجرا شده‌اند. مراحل و روش‌های توصیف شده در این تحقیق برای ارزیابی قابلیت اطمینان، به طور ذاتی احتمالاتی است.

هدف اولیه سیستم تغذیه برق، تامین تقاضای بار مورد نیاز مشترکان برای انرژی است. تولید توان طوری انجام می‌شود که بیش‌ترین توان با حداقل هزینه تولید شود. سیستم انتقال برای ارسال مقدار زیادی انرژی از نواحی عمده تولید به مراکز اصلی بار استفاده می‌شود. سیستم‌های توزیع، انرژی را با رساندن به سطح ولتاژ مناسب به مشترکان می‌رسانند. به طور سنتی، واحدهای مرکزی توان در یک سیستم برق یکپارچه، تاسیسات عمده تولید را تشکیل می‌دهند. اگر چه، با تجدید ساختار سیستم، انتظار می‌رود که تاسیسات تولیدی کوچک یا آن چه که به تولید پراکنده[1] (DG) مشهور است، به عنوان تامین‌کننده سهم عمده‌ای از تولید توان لحاظ شوند. اگرچه تولید پراکنده می‌تواند مزایای بیشماری برای سیستم قدرت مانند کاهش تلفات توان، کنترل توان راکتیو، سرویس‌دهی کمکی، بهبود قابلیت اطمینان، کارایی بهتر و ... به همراه داشته باشد هنوز موانع فنی متعددی وجود دارد که باید قبل از به‌کارگیری DG حل شوند.

در میان چالش‌های اصلی که با به کارگیری DG در سیستم توزیع به وجود می‌آید، توسعه برنامه‌ریزی صحیح و روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان است که بتواند عدم قطعیت بوجود آمده ناشی از افزایش DGهای تجدیدپذیر در سیستم توزیع را در نظر بگیرد.

۱-۲- پیشینه تحقیق

روش‌های متعددی در خصوص مدل‌سازی و ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع مطرح و ارائه شده‌اند و تحقیقات و مطالعات در این زمینه هم‌چنان ادامه دارد [۲]. شاخص‌های نقاط بار و سیستم می‌تواند با نصب DG در شبکه توزیع بهبود یابد. اثر DG روی قابلیت اطمینان سیستم توزیع در مراجع متعددی مطالعه شده است. مرجع [۳] قابلیت اطمینان سیستم قدرت با توان بادی را مطرح کرده است. در مرجع [۴] الگوریتمی بر اساس روش تحلیلی برای ارزیابی زمان بازیابی نقاط بار یک سیستم توزیع با واحدهای DG پشتیبان تولید مطرح شده است. در مرجع [۵] یک مدل قابلیت اطمینان برای تعیین معادل DG برای استفاده در مطالعات برنامه‌ریزی سیستم‌های توزیع در محیط رقابتی جدید مطرح شده است. در مرجع [۶] از روش جمع‌آوری داده برای محاسبات شاخص‌های قابلیت اطمینان استفاده کرده‌اند.

[1] Distributed generation

محاسبات شاخص‌های قابلیت اطمینان می‌تواند با استفاده از نرم‌افزارهای تجاری انجام شود. در مرجع [۷] نویسنده، تحلیل قابلیت اطمینان را با استفاده از یک برنامه کامپیوتری برای محاسبات شاخص‌های قابلیت اطمینان (*DISREL*)[1] اجراکرده و اثر *DG* روی قابلیت اطمینان سیستم توزیع را نشان داده است. در مرجع [۸] یک روش تحلیلی و احتمالاتی برای محاسبه قابلیت اطمینان برای وقفه‌های گذرا مطرح شده است. مرجع [۹] اثرات مثبت و منفی DG روی شاخص‌های قابلیت اطمینان و کفایت توان را نشان داده است. در مرجع [۱۰] اثرات جزیره بندی عمدی DG در بهبود قابلیت اطمینان بحث شده است. در مرجع [۱۱] ارزیابی قابلیت اطمینان برای یک سیستم توزیع در حالت جزیره از روش well-being ارائه شده است. در مرجع [۱۲] مدل‌سازی یک مزرعه بادی از دیدگاه قابلیت اطمینان مورد بحث و بررسی قرار گرفته و مدل باد مناسب ارائه شده است. در مرجع [۱۳] از یک روش تحلیلی برای ارزیابی قابلیت اطمینان یک فیدر توزیع در حالی که مکان *DG* در انتهای فیدر فرض شده، استفاده شده است. در مرجع [۱۴] اثر قابلیت اطمینان نصب یک *DG* با اندازه بزرگ در مقایسه با نصب چندین واحد *DG* با اندازه کوچک نشان داده شده است. در مرجع [۱۵] نویسندگان روشی نشان داده‌اند که به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان، منحنی زمانی بار را با مشخصات مد عملکردی DG ترکیب کرده است.

۱-۳- نوآوری تحقیق

در تحقیق حاضر از منابع انرژی تجدیدپذیر که دارای عدم قطعیت در خروجی توان می‌باشند، استفاده شده است و اثر آن‌ها بر قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع الکتریکی بررسی شده است. ضمن اینکه تاثیر آب و هوا بر این سیستم‌ها و نتایج نیز نشان داده شده است.

۱-۴- ساختار تحقیق

در فصل ۲ ابتدا به جنبه‌های مختلف و سلسله مراتب قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت پرداخته شده است، سپس قابلیت اطمینان در سیستم‌های توزیع و ساختارهای این سیستم‌ها معرفی شده‌اند. ارزیابی هزینه-فایده سیستم‌های توزیع بیان شده است. در ادامه، بحث تاثیر آب و هوا بر شاخص‌های شبکه توزیع به همراه مدل دو حالته آب و هوا آمده است.

در فصل ۳ ابتدا به معرفی روش‌های کلی ارزیابی قابلیت اطمینان شامل روش‌های تحلیلی و شبیه‌سازی پرداخته شده است، سپس یک نمونه استفاده از روش تحلیلی نشان داده شده است. در بخش دیگر، روش کات‌ست کمینه شرح داده شده است. در قسمت دیگری، استفاده از یک مدل مارکوف برای محاسبات قابلیت اطمینان نشان داده شده است. ارزیابی قابلیت اطمینان با استفاده از مدل‌کردن مارکوف چندسطحی که یکی از روش‌هایی است که کمتر به آن پرداخته شده است شرح داده شده است.

[1] Distribution Reliability

فصل ۴ به مدل‌سازی منابع تولید پراکنده در این تحقیق اختصاص دارد. ابتدا به تعریف تولید پراکنده، دلایل به‌کارگیری و تکنولوژی‌های آن اشاره شده است. در بخش بعد، سناریوهای عملکرد این واحدها و هم‌چنین حالت‌های عملکردشان آمده است. در بخش دیگر، مدل‌سازی منابع تولید پراکنده بادی به همراه توان خروجی این منابع آمده است. در بخش بعدی به مدل‌سازی منابع تولید پراکنده خورشیدی و توان خروجی این منابع پرداخته شده است.

فصل ۵ به ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع با در نظر گرفتن واحدهای تولید پراکنده تجدیدپذیر می‌پردازد. مدل دسترس‌پذیری عناصر سیستم بررسی شده است. هم‌چنین به محاسبات احتمال ایجاد جزیره پرداخته شده است.

در فصل ۶ به ارزیابی قابلیت اطمینان یک شبکه تست نمونه اختصاص دارد.

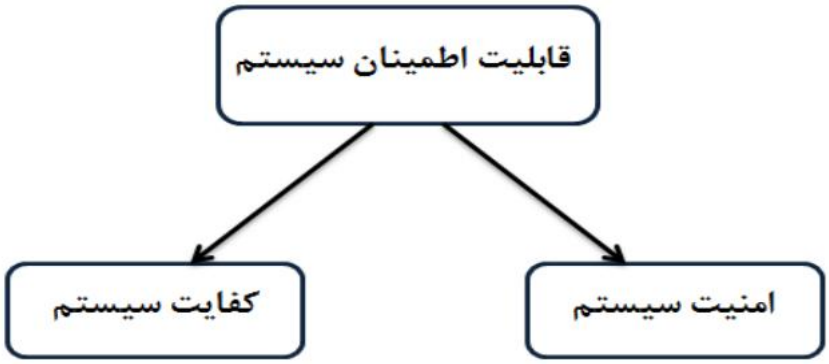
در فصل ۷ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ممکن برای ادامه این تحقیق آمده است.

فصل ۲– قابلیت اطمینان سیستم قدرت و سیستم توزیع

۲–۱– قابلیت اطمینان سیستم قدرت و نواحی وابسته به آن

۲–۱–۱–قابلیت اطمینان سیستم قدرت

قابلیت اطمینان سیستم قدرت، توانایی کلی سیستم قدرت برای تامین تغذیه کافی انرژی الکتریکی را نشان می‌دهد. قابلیت اطمینان می‌تواند به دو جنبه اصلی کفایت و امنیت سیستم تقسیم شود به طوری که در شکل ۲-۱: تقسیم‌بندی قابلیت اطمینان سیستم نشان داده شده است [۱۶].



شکل ۲-۱: تقسیم‌بندی قابلیت اطمینان سیستم

کفایت سیستم قدرت، توانایی سیستم برای تغذیه انرژی کافی به مشترکین خود می‌باشد؛ بنابراین، کفایت سیستم مربوط به وجود تاسیسات تولید، انتقال و توزیع کافی درون سیستم برای پاسخ‌گویی به تقاضای مشترکین است؛ بنابراین، کفایت به شرایط ایستا مربوط شده و شامل اغتشاشاتی که در طول عملکرد سیستم اتفاق می‌افتند نمی‌شود. امنیت سیستم به توانایی سیستم در حفظ وضعیت عملکرد مناسب پس از مواجهه با اغتشاشات، مربوط می‌شود. بیشتر روش‌های احتمالاتی توسعه یافته برای ارزیابی کفایت سیستم هستند و این پایان‌نامه روی این حوزه تمرکز می‌کند.

۲–۱–۲–نواحی اساسی سیستم قدرت

یک سیستم قدرت می‌تواند برای اهداف برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و تحلیل به سه ناحیه اساسی تولید، انتقال و توزیع تقسیم شود. قابلیت اطمینان سیستم قدرت می‌تواند در سه ناحیه اساسی یا در ترکیباتی به صورت سلسله مراتبی بررسی شود. سطوح مرتبه‌ای ارزیابی قابلیت اطمینان در یک سیستم قدرت در شکل (۲-۲) نشان داده شده‌اند.