بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم تولید درحضور مزارع بادی با در نظرگرفتن عدم قطعیت‌ها و ملاحظات توان راکتیو

نگارنده:

امید خسروجردی

استاد راهنما:

حمید رضا نجفی

تابستان ۱۳۹۳

تأییدیه هیات داوران

(برای پایان‌نامه)

یک نسخه اصل فرم مربوطه

تقدیم

تقدیم به پدر و مادرم و خانواده ی عزیزم

که با صبر و شکیبایی در تمام دوران زندگی

مرا راهنمایی نموده اند.

تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می‌دانم که از زحمات استاد ارجمند **جناب آقای دکتر حمید رضا نجفی** استاد راهنمای این پژوهش قدردانی نمایم. همچنین از **جناب آقای دکتر محمدرضا آقاابراهیمی و سرکار خانم دکتر مریم رمضانی** که زحمت مطالعه و داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند کمال تشکر را دارم.

چکیده

امروزه افزایش قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت یکی از اهداف مهم در برنامه‌ریزی‌های مختلف آن محسوب می‌شود. در این میان بررسی قابلیت اطمینان از نقطه نظر تولید از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با ورود روزافزون منابع انرژی‌های تجدیدپذیر به چرخه‌ی تولید انرژی از یک سوی و افزایش مصرف انرژی از سوی دیگر، شاخص‌های قابلیت اطمینان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده‌اند. در این میان استفاده از مزارع بادی به دلیل تولید انرژی در حجم بالاتر و ارزان‌تر بودن، اهمیت بیشتری پیدا کرده است. در این تحقیق جهت ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه با حضور مزارع بادی، ضمن انتخاب مدل مناسب برای پیش‌بینی سرعت باد و مزرعه بادی، شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم از روش تحلیلی فراوانی و تداوم محاسبه شده‌اند. در مطالعات پیشین شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم تولید بر پایه توان اکتیو محاسبه شده و فقط شاخص‌های توان راکتیو معرفی شده‌اند در حالی که محدودیت ولتاژ در شین‌های شبکه با توجه به کمبود توان راکتیو یا نارسایی منابع توان راکتیو باعث محدودیت در تامین بار مورد تقاضا شده و به طور حتم نقش بسزایی در شاخص‌های قابلیت اطمینان نقاط بار و سیستم خواهند داشت.

از نکات برجسته در این پایان‌نامه، وارد نمودن اثر محدودیت توان راکتیو ژنراتورهای سیستم در محاسبات و معرفی شاخص‌های قابلیت اطمینان جدید و واقع بینانه‌تری است. همچنین اثر عدم قطعیت بار با استفاده از یک مدل بار مناسب، تاثیر خطوط انتقال ارتباطی مزرعه بادی و ضریب قدرت بار بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان نیز مطالعه شده‌اند.

نتایج بدست آمده نشان می‌دهند که حضور مزرعه بادی بدون لحاظ کردن محدودیت توان راکتیو باعث بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان شده درحالی‌که با توجه به نوع ژنراتورهای مزرعه بادی و مقدار محدودیت توان راکتیو ژنراتورها، شاخص‌های مذکور می‌توانند بدتر شوند. بدیهی است گنجاندن اثر این محدودیت‌ها موجب واقعی‌تر شدن شاخص‌ها می‌شود.

کلید واژه‌ها: قابلیت اطمینان، مزرعه‌ی بادی، محدودیت توان راکتیو، سیستم‌های بهم پیوسته، عدم قطعیت بار.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... د
فهرست جدول‌ها ..... ه
فهرست شکل‌ها ..... ز

فصل ۱- مقدمه ۱
۱-۱- پیشگفتار ۱
۱-۲- سوابق تحقیق ۲
۱-۳- هدف از انجام تحقیق و معرفی پژوهش موردنظر در این پایان‌نامه ۳

فصل ۲- قابلیت اطمینان ۴
۲-۱- مقدمه ۴
۲-۲- جنبه‌های مختلف مطالعات قابلیت اطمینان ۴
۲-۳- مقدمه‌ای بر احتمال و متغیرهای تصادفی ۶
۲-۴- مفهوم قابلیت اطمینان ۶
۲-۴-۱- پارامترهای اصلی مورد استفاده در ارزیابی قابلیت اطمینان ۷
۲-۵- روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان ۱۰
۲-۵-۱- روش‌های تحلیلی ۱۰
۲-۵-۲- شبیه‌سازی مونت کارلو ۱۱
۲-۵-۳- مزایا و معایب روش‌های تحلیلی و شبیه‌سازی مونت کارلو ۱۱
۲-۶- تقسیم‌بندی یک سیستم قدرت در مطالعات قابلیت اطمینان ۱۲
۲-۶-۱- سطح HLI ۱۳
۲-۶-۲- سطح HLII ۱۴
۲-۶-۳- سطح HLIII ۱۴
۲-۷- قابلیت اطمینان سیستم تولید ۱۵
۲-۷-۱- کفایت سیستم تولید ۱۵
۲-۷-۲- عدم دسترسی واحد ۱۵
۲-۷-۳- جدول احتمال خروج ظرفیت ۱۷
۲-۸- روش فراوانی و تداوم (F&D) ۱۷
۲-۸-۱- روش پایه ۱۸
۲-۸-۲- الگوریتم بازگشتی برای ساختن مدل ظرفیت ۲۱
۲-۹- مدل بار ۲۴
۲-۹-۱- منحنی تداوم بار ۲۴

۲-۹-۲- مدل بار حالت تجمعی ۲۵
۲-۹-۳- مدل بار حالت منفرد ۲۶
۲-۹-۴- عدم قطعیت بار ۲۹
۲-۹-۴-۱- توصیف توزیع نرمال ۲۹
۲-۱۰- شاخص‌های قابلیت اطمینان ۳۰
۲-۱۱- سیستم‌های بهم پیوسته ۳۴
۲-۱۱-۱- روش آرایه احتمالی ۳۵
۲-۱۱-۲- روش واحد کمکی معادل ۳۵
۲-۱۱-۲-۱- عوامل موثر بر کمک اضطراری در دسترس ۳۶
۲-۱۱-۲-۱-۱- اثر ظرفیت خطوط انتقال ارتباطی ۳۶
۲-۱۱-۲-۱-۴- اثر قابلیت اطمینان خطوط انتقال ارتباطی ۳۶
۲-۱۱-۲-۱-۳- اثر تعداد خطوط انتقال ارتباطی ۳۷
۲-۱۱-۲-۱-۴- اثر عدم قطعیت ظرفیت خطوط انتقال ۳۷
۲-۱۲- نتیجه‌گیری ۳۸

فصل ۳- مدل سازی مزارع بادی ۴۰
۳-۱- مقدمه ۴۰
۳-۲- مدل‌سازی سرعت باد بر پایه توزیع وایبل ۴۰
۳-۳- سری زمانی ۴۱
۳-۳-۱- سری زمانی ARMA ۴۱
۳-۳-۲- تابع خود همبستگی (ACF) ۴۴
۳-۴- مدل‌سازی توربین بادی ۴۶
۳-۵- مفهوم روش F&D در سری زمانی ۴۸
۳-۶- مدل احتمالی توان خروجی یک توربین بادی ۴۹
۳-۷- مدل احتمال توان خروجی مزرعه بادی ۵۲
۳-۸- ماشین‌های الکتریکی مورد استفاده در مزارع بادی ۵۵
۳-۸-۱- ماشین‌های القایی (آسنکرون) ۵۵
۳-۸-۱-۱- بررسی سه حالت موتوری، ژنراتوری و ترمز در ماشین‌های القایی سه فاز ۵۶
۳-۸-۲- ماشین‌های سنکرون ۵۷
۳-۸-۳- مدل ژنراتورها ۵۸
۳-۹- الگوریتم محاسبه شاخص‌های سیستم برای سیستم مورد مطالعه ۵۸
۳-۱۰- نتیجه‌گیری ۶۰

فصل ۴- معرفی شبکه مورد مطالعه ۶۱
۴-۱- شبکه تست ۶۱
۴-۲- محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم RBTS ۶۲
۴-۳- محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم در حضور مزارع بادی ۶۹

۴-۳-۱- محاسبه COPT مزرعه بادی ۶۹
فصل ۵- نتایج و پیشنهادات ۸۰
۵-۱- نتیجه‌گیری ۸۰
۵-۲- پیشنهادات ۸۱
ضمیمه أ -جداول مربوط به اطلاعات ضرایب بار مدلIEEE RTS ۸۲
ضمیمه ب -جدول اطلاعات مربوط به ژنراتورهای شبکه‌یRBTS ۸۴
ضمیمه ج -مدل کفایت سیستم تولید اصلاح شده‌ی سیستم‌ها ۸۴
فهرست مراجع ۱۰۰
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۱۰۲
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۱۰۴

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
فراوانی منفرد	f
احتمال تجمعی	P
فراوانی تجمعی	F
ظرفیت خروج	X
سری زمانی	y_t
میانگین	μ_t
انحراف معیار	σ_t
نابع خود همبستگی	ρ_k
سرعت نامی	v_r
سرعت شروع تولید توان	v_{cin}
سرعت نهایی تولید توان	v_{co}
تعداد توربین‌ها	N_t
توان راکتیو	Q
توان اکتیو	P
ضریب شکلی	k
ضریب مقیاس	c
ضریب عملکرد توربین	C_p
بازده‌ی گیربکس	N_b
توان انرژی بادی	P_w
سرعت باد	S_w
نویز سفید	α_t

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: حالت‌های کار و خرابی ۱۸
جدول ۲-۲: مدل تولید سیستم سه تولیدی ۲۰
جدول ۲-۳: مدل تولید سیستم سه تولیدی کاهش یافته ۲۱
جدول ۲-۴: اضافه کردن واحد اول به مدل تولید ۲۲
جدول ۲-۵: جدول COPT کامل سه واحد تولیدی ۲۲
جدول ۲-۶: مدل n حالته کلی مربوط به یک واحد تولیدی ۲۳
جدول ۲-۷: مدل بار حالت منفرد ۲۸
جدول ۲-۸: سطوح مختلف بار ۳۰
جدول ۲-۹: احتمالات سطوح بار با در نظر گرفتن عدم قطعیت ۳۰
جدول ۳-۱:COPT یک واحد توربین بادی ۲ مگاواتی ۵۱
جدول ۴-۱: جدول COPT سیستم RBTS ۶۳
جدول ۴-۲: مدل بار حالت منفرد ۶۵
جدول ۴-۳: مدل حاشیه ظرفیت سیستمRBTS ۶۶
جدول ۴-۴: شاخص‌های کفایت سیستم RBTS برای سطوح بار مختلف ۶۷
جدول ۴-۵: شاخص‌های D، F، P و T سیستم RBTS برای سطوح بار مختلف ۶۸
جدول ۴-۶: شاخص‌های کفایت سیستم RBTS با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار ۶۸
جدول ۴-۷: شاخص‌های D، F، P و T سیستم RBTS با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار ۶۸
جدول ۴-۸: مدل COPT یک مزرعه بادی ۸۰ مگاواتی ۷۰
جدول ۴-۹: جدول COPT معادل سیستم کمک‌رسان ۷۱
جدول ۴-۱۰: جدول COPT خطوط انتقال ارتباطی ۷۲
جدول ۴-۱۱: جدول COPT معادل سیستم کمک‌رسان با خطوط انتقال ارتباطی نامطمئن ۷۳
جدول ۴-۱۲: قسمتی از جدول COPT سیستم مورد مطالعه ۷۴
جدول ۴-۱۳: مدل قابلیت اطمینان سیستم مورد مطالعه ۷۵
جدول ۴-۱۴: شاخص‌های کفایت سیستم مورد مطالعه برای سطوح بار مختلف ۷۶
جدول ۴-۱۵: شاخص‌هایP، F، D و T سیستم مورد مطالعه برای سطوح مختلف بار ۷۶
جدول ۴-۱۶: شاخص‌های کفایت سیستم مورد مطالعه با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار ۷۷
جدول ۴-۱۷: شاخص‌هایD، F، P و T سیستم مورد مطالعه با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار ۷۷
جدول ۴-۱۸: مقایسه شاخص‌های سیستم برای حالات مختلف با در نظر گرفتن عدم قطعیت بار ۷۸
جدول أ-۱: در صد پیک بار هفتگی از پیک بار سالانه ۸۲
جدول أ-۲: در صد پیک بار هفتگی از پیک بار سالانه ۸۲

جدول أ- ۳: در صد پیک بار ساعتی از پیک بار روزانه..... ۸۳
جدول ب-۱: اطلاعات مربوط به ژنراتورهای شبکه‌ی RBTS ۸۴
جدول ج-۱: مدل کفایت سیستم RBTS ۸۴
جدول ج-۲: مدل کفایت سیستم تولید اصلاح شده‌ی سیستم مورد مطالعه..... ۸۸

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: زیرمجموعه‌های قابلیت اطمینان سیستم ۴
شکل ۲-۲: مدل کفایت در سیستم تولید ۵
شکل ۲-۳: ارتباط بین قابلیت اطمینان و عدم قابلیت ۷
شکل ۲-۴: منحنی تغییرات نرخ خرابی قطعات الکتریکی نسبت به عمر مفید ۷
شکل ۲-۵: میانگین زمان‌های تعمیر و خرابی عناصر سیستم ۹
شکل ۲-۶: تقسیم بندی یک سیستم قدرت و سطوح مختلف ارزیابی قابلیت اطمینان آن ۱۳
شکل ۲-۷: سیستم تولید و تقاضا ۱۳
شکل ۲-۸: مفهوم پایه در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم تولید ۱۵
شکل ۲-۹: مدل دو حالته مارکوف برای یک واحد تولیدی (سالم، خراب) ۱۶
شکل ۲-۱۰: مدل سه حالته مارکوف برای واحد تولیدی ۱۷
شکل ۲-۱۱: دیاگرام فضای حالت سه واحدی ۱۹
شکل ۲-۱۲: منحنی تداوم بار ۲۵
شکل ۲-۱۳: مدل حالت تجمعی بار ۲۵
شکل ۲-۱۴: مشخصه‌ی بار- فراوانی ۲۶
شکل ۲-۱۵: مدل بار روزانه ۲۷
شکل ۲-۱۶: مدل بار در یک دوره ۲۷
شکل ۲-۱۷: توصیف توزیع نرمال احتمالات با هفت بازه ۲۹
شکل ۲-۱۸: منحنی از دست دادن انرژی ۳۲
شکل ۲-۱۹: دو سیستم بهم پیوسته با اتصال خطوط ارتباطی ۳۴
شکل ۲-۲۰: محدوده‌ی حالات خوب و بد (g=good & b=bad) ۳۵
شکل ۲-۲۱: تقسیم‌بندی روش‌های قابلیت اطمینان سیستم قدرت ۳۸
شکل ۳-۱: سری زمانی شبیه‌سازی ۴۲
شکل ۳-۲: سری زمانی نویز سفید ۴۳
شکل ۳-۳: نحوه‌ی توزیع اعداد تصادفی نویز سفید ۴۳
شکل ۳-۴: تابع خودهمبستگی سرعت باد واقعی و سرعت باد داده شبیه‌سازی شده ۴۴
شکل ۳-۵: مقایسه توزیع روزانه سرعت باد واقعی وشبیه‌سازی ۴۵
شکل ۳-۶: مقایسه متوسط توزیع ماهانه سرعت باد واقعی و شبیه‌سازی ۴۵
شکل ۳-۷: یک مزرعه بادی فرا ساحلی ۴۶
شکل ۳-۸: منحنی توان-سرعت ۴۸
شکل ۳-۹: ماتریس انتقال حالات یک توربین بادی ۵۰
شکل ۳-۱۰: توالی ۲۰۰ ساعت سرعت باد ۵۰

شکل ۳-۱۱: مقایسه توالی ۲۰۰ ساعت سرعت باد ۵۰
شکل ۳-۱۲: حالت‌های نیروگاه بادی ۵۱
شکل ۳-۱۳: مدل مارکوف توربین بادی ۵۲
شکل ۳-۱۴: مدل مارکوف مزرعه بادی ۵۳
شکل ۳-۱۵: یک دسته‌بندی از حالات ۵۴
شکل ۳-۱۶: مدل شش-حالته مزرعه بادی با ظرفیت ۱۰مگاوات ۵۵
شکل ۳-۱۷: منحنی گشتاور- سرعت ماشین القایی ۵۷
شکل ۳-۱۸: منحنی توان ژنراتور ۵۸
شکل ۳-۱۹:الگوریتم محاسبه شاخص‌های سیستم مورد مطالعه ۵۹
شکل ۴-۱: دیاگرام تک خطی سیستم RBTS ۶۱
شکل ۴-۲:منحنی LDC سیستم RBTS ۶۲
شکل ۴-۳: مدل بار منفرد با بار کم ۳۰MW ۶۴
شکل ۴-۴: مدل بار منفرد سیستم RBTS با بار کم صفر ۶۵
شکل ۴-۵: دیاگرام تک خطی سیستم‌های بهم پیوسته‌ی مورد مطالعه ۶۹

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

نیاز انسان‌ها به منابع انرژی همواره از مسائل مهم در زندگی بشر بوده است بنابراین انسان‌ها برای دستیابی به منابع تمام نشدنی تلاش می‌کردند. با پیشرفت تمدن بشری، چوب، زغال‌سنگ، نفت و گاز وارد بازار انرژی گردیدند. اما به دلیل افزایش روزافزون نیاز به انرژی و محدودیت منابع فسیلی از یک سو و افزایش آلودگی محیط‌زیست ناشی از سوزاندن این منابع از سوی دیگر، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را روز به روز با اهمیت‌تر و گسترده‌تر نموده است. در بین منابع تجدیدپذیر نیروگاه‌های بادی به‌دلیل حجم بالاتر تولید نیرو، ارزان‌تر بودن و دسترسی فراگیرتر به منبع تولید یعنی باد در سیستم قدرت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱]، [۲].

نیروگاه‌های بادی که توانایی تولید مقادیر زیادی از توان را دارند، با نصب و استفاده از تعداد زیادی توربین‌های بادی ایجاد شده‌اند. این نیروگاه‌ها می‌توانند به شبکه‌های توزیع یا انتقال وصل شوند ویا به طور مجزا از شبکه کار کنند. انواع مختلفی از توربین‌های بادی با ظرفیت‌ها و مشخصه‌های گوناگون در نیروگاه‌های بادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. توان خروجی توربین‌های بادی بر اساس سرعت باد و این ویژگی‌ها تعیین می‌شود. بنابراین الگوی تولید نیروگاه بادی با شناخت از تاثیر سرعت باد و مدل توربین بادی قابل بیان است [۳].

سیستم‌های قدرت رفتاری احتمالاتی دارند. بارهای سیستم قدرت همواره دارای عدم قطعیت هستند، بنابراین پیش بینی دقیق و واقعی بار کاری غیر ممکن است. بروز خرابی در سیستم قدرت گاهاً می‌تواند باعث خاموشی سراسری گردد که امری بسیار خطیر است. قطع برق می‌تواند باعث خسارت‌های عظیم اقتصادی شود بنابراین بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم قدرت از اهمیت بالایی برخوردار است. مدیریت ریسک در سیستم قدرت شامل سه فعالیت زیر است:

۱) ارزیابی کمی ریسک
۲) تعیین روش‌هایی برای کاهش ریسک
۳) توجیه یک سطح ریسک قابل قبول

ریسک درلغت به معنای احتمال از بین رفتن یا صدمه دیدن انسان‌ها یا دارایی‌ها است. در ارزیابی ریسک سیستم قدرت، باید علاوه بر وقوع خرابی‌ها، شدت پیامدها را نیز در نظر گرفت. خرابی‌های تصادفی در سیستم قدرت قابل کنترل نیستند، بنابراین رسیدن به سطح صفر برای ریسک غیرممکن است. در اغلب موارد تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یک سطح معین از ریسک باید توجیه فنی و اقتصادی داشته باشد. با تجدید ساختار صنعت برق، اهمیت مدیریت و ارزیابی کمی ریسک روزافزون شده است. محیط رقابتی جدید شرکت‌های برق را وادار می‌کند که سیستم های خود را تقریباً با تمام ظرفیت بهره‌برداری کنند. ولی تنش ناشی از این شرایط بهره‌برداری، باعث کاهش قابلیت اطمینان سیستم می‌شود. هر ساله کشورها در اثر خاموشی‌ها هزینه‌های هنگفتی متحمل می‌شوند و خاموشی‌های سراسری سیری صعودی

داشته است. البته مشترکین در تمام دنیا به این مطلب پی برده‌اند که تأمین انرژی الکتریکی با تداوم صددرصد و بدون وقفه، خواسته‌ای غیرممکن است اما آنان حق دارند که از شرکت‌های برق انتظار داشته باشند که وقفه‌ها را به حداقل برسانند.

ارزیابی ریسک سیستم‌های قدرت کاربردهای متنوعی دارد که عبارتند از:

- ارزیابی کمی قابلیت اطمینان سیستم‌های تولید، انتقال و توزیع
- معیارهای احتمالاتی در برنامه ریزی و بهره برداری سیستم
- مصالحه بین ریسک سیستم و سود اقتصادی در یک فرایند تصمیم‌گیری
- مدیریت خرابی‌های ناشی از پیری تجهیزات
- تعیین راهبرد تأمین تجهیزات یدکی
- تعمیر و نگهداری با محوریت قابلیت اطمینان

این تغییر درساختار شبکه‌های برق باعث شده است که مدیریت و ارزیابی کمی ریسک امروزه بسیار قابل توجه باشد. شرکت های برق باید الزاماً سیستم‌های خود را با تمام ظرفیت بهره‌برداری کنند.که این شرایط باعث می‌شود قابلیت اطمینان سیستم بسیار کاهش یابد که این امر در سال‌های اخیر باعث خاموشی‌های سراسری در مناطق بسیاری از دنیا شده است. به همین دلیل باید این مطلب به دقت بررسی شود که با خارج شدن ژنراتورهای بخشی از سیستم، امکان تأمین برق مصرف کنندگان وجود دارد. عامل اصلی وقوع یک خرابی در سیستم، تعدد تجهیزات یک سیستم قدرت مثل ژنراتورها، ترانسفورماتورها، خطوط انتقال، کابل‌ها، کلیدها و ... است.

۱-۲- سوابق تحقیق

در مطالعات سیستم قدرت در حضور مزارع بادی به مدلی دقیق برای پیش‌بینی سرعت باد نیاز است. توزیع‌های سرعت باد اغلب بوسیله توزیع وایبل[۱] در ارزیابی سیستم با روش تحلیلی توصیف می‌شود. مرجع [۴] از روش‌های مبتنی بر توزیع وایبل در تخمین داده‌های سرعت باد استفاده کرده است. این روش‌ها تغییرات سرعت باد را در مناطق جغرافیایی تشخیص نمی‌دهند. در مرجع [۵] یک الگوریتم ساعتی با استفاده از سری زمانی آرما[۲] (ARMA) ارائه شده است.

مشخصات خروجی ژنراتورهای توربین بادی[۳] (WTG) کاملا از واحدهای تولید مرسوم متفاوت‌اند، به جز در مواقعی که در حالت خروج کامل یا نقص قرار گرفته‌اند، زیرا خروجی توربین بادی در تمام زمان‌ها خروجی نامی نمی‌باشد. توان خروجی یک توربین بادی متاثر از مشخصات طراحی آن و سرعت باد موجود است. رابطه بین توان تولیدی و سرعت باد یک رابطه غیر خطی است، که به عنوان منحنی توان توربین بادی شناخته می‌شود [۶].

---

[۱] Weibull

[۲] Auto- Regresive & Moving-Average

[۳] Wind Turbine Generator

روش‌های متفاوتی برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های تولید در حضور توان اکتیو با حضور مزارع بادی وجود دارد. روش‌های تحلیلی[۱]، شاخص‌های قابلیت اطمینان را با راه‌حل‌های عددی با استفاده از مدل‌های ریاضی بیان کننده‌ی سیستم قدرت ارزیابی می‌کنند[۷]، [۸]. شبیه‌سازی مونت‌کارلو[۲] روش متفاوتی را برای تخمین شاخص‌ها با شبیه‌سازی فرآیند حقیقی و رفتار تصادفی سیستم ارائه می‌دهد [۹]، [۱۰].

در سال‌های اخیر فعالیت‌های قابل توجهی در زمینه قابلیت اطمینان در حضور توان اکتیو و تولید بادی صورت گرفته است. یک توربین بادی مانند یک ژنراتور چندحالته مدل می‌شود [۴]، [۶]، [۱۱]. مرجع [۱۲] یک الگوریتمی برای مدل توربین بادی ارائه می‌کند که کاربرد این مدل در تعیین انرژی خروجی سالیانه مزرعه بادی متصل به شبکه می‌باشد. مراجع [۱۳] و [۱۴] مدلی برای تولید توان بادی ارائه می‌نماید.

مراجع [۱۵]، [۱۶] و [۱۷] نقش توان راکتیو در سیستم‌های قدرت را بیان نموده و شاخص‌های قابلیت اطمینان را تعریف می‌نمایند.

۱–۳– هدف از انجام تحقیق و معرفی پژوهش موردنظر در این پایان‌نامه

هدف از انجام تحقیق مورد نظر ایجاد شاخص‌های جدید و واقع‌بینانه‌تر، برای ارزیابی قابلیت اطمینان سسیستم‌های قدرت در حضور نیروگاه‌های بادی است. بدین منظور ابتدا باید با یک مدل مناسب سرعت باد را پیش‌بینی نمود تا بتوان مدل مزرعه بادی را بدست آورد. در این پژوهش با استفاده از یک مدل مارکوف چند حالته توان خروجی یک توربین بادی مدل می‌شود. در این بین نوع ژنراتورهای یک مزرعه بادی از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا بر اساس نوع ژنراتور موجود، مدل مزرعه بادی در حضور توان راکتیو متفاوت است. همچنین برای سیستم اصلی نیز باید علاوه بر مدل توان اکتیو مدلی برای توان راکتیو نیز تهیه نمود.

کفایت سیستم قدرت بوسیله اتصال بین دو سیستم قدرت بهبود می‌یابد. در این مطالعه سیستم مزرعه بادی به عنوان یک سیستم کمک‌رسان به سیستم اصلی اضافه خواهد شد و شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم اصلی اصلاح می‌شوند. سیستم کمک‌رسان بوسیله خطوط ارتباطی به سیستم اصلی متصل می‌شود. در این پژوهش این خطوط لحاظ می‌شوند. مدل تولید از ترکیب مدل سیستم کمک‌رسان و سیستم اصلی حاصل می‌گردد. در ادامه مدل بار حالت منفرد به عنوان مدل بار، در نظر گرفته شده و این مدل با مدل تولید ترکیب و شاخص‌ها محاسبه می‌شود. پیش‌بینی بار کاری بسیار سخت است بنابراین عدم قطعیت بار نیز لحاظ می‌شود. در ادامه به محاسبه شاخص‌های موجود توان اکتیو و راکتیو پرداخته شده و با ایجاد شاخص‌های جدید می‌توان تاثیر توان راکتیو را بر شاخص‌های توان اکتیو بدست آورد.

---

[۱] Analytical Methods

[۲] Monte Carlo Simulation

فصل ۲–قابلیت اطمینان

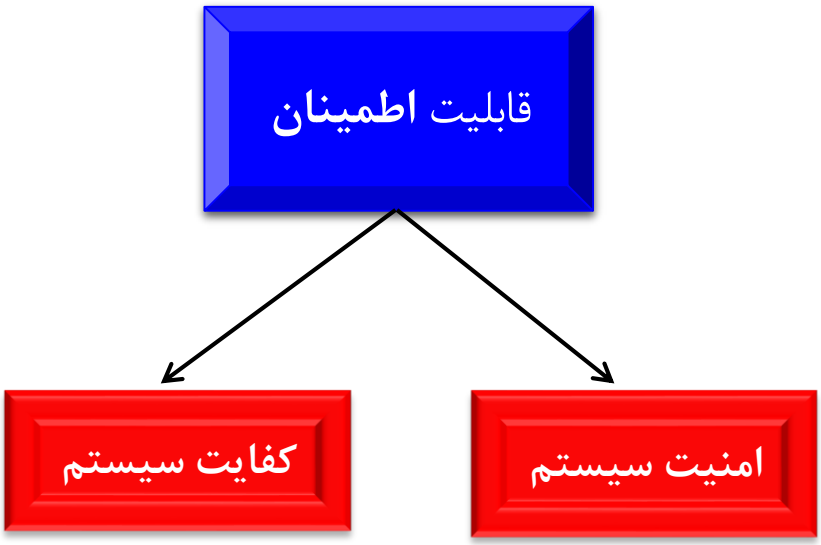
۲–۱– مقدمه

باری که یک سیستم قدرت برای مشتری فراهم می‌کند باید تا حد امکان اقتصادی باشد، همچنین این بار باید تداوم داشته باشد به این معنی که قطعی آن حداقل باشد. از طرفی این بار باید کیفیت مناسب را داشته باشد. پیشرفت یک جامعه‌ی مدرن به طور قابل توجه‌ای به دسترسی به منابع انرژی الکتریکی وابسته است در نتیجه انتظار می‌رود که تقاضا برای کیفیت بالا و منابع انرژی مطمئن روز به روز افزایش یابد [۷].

در فواصل سال‌های ۱۹۴۵ تا اواخر دهه‌ی ۶۰ انرژی تولید شده توسط نیروگاه‌ها از پایداری زیادی برخوردار بود[۱۸]. چرا که بارهای مصرفی بسیار کم بود و نیروگاه‌ها به راحتی می توانستند بار مورد تقاضای مصرف کننده را تأمین کنند. اما با گذشت زمان و پیشرفت جوامع تقاضا به تدریج افزایش پیدا کرد و بنابراین دست اندرکاران سیستم‌های قدرت نتوانستند پیش بینی درستی از آینده‌ی سیستم داشته باشند.

۲–۲– جنبه‌های مختلف مطالعات قابلیت اطمینان

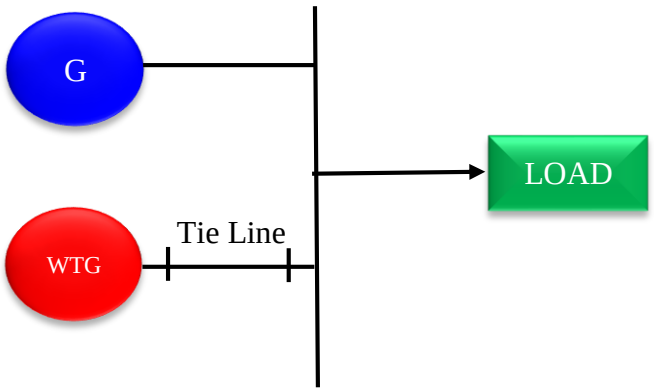
روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم به دو زیر مجموعه‌ی کفایت سیستم[۱] و امنیت سیستم[۲] تقسیم می شود [۷] که در شکل ۲–۱ نشان داده شده است. هرکدام از این زیرمجموعه‌ها دارای معیارها و روش‌های تست سیستم مخصوص به خود هستند.



شکل ۲-۱: زیرمجموعه‌های قابلیت اطمینان سیستم

[۱] System Adequacy
[۲] System Security

کفایت سیستم توانایی سیستم را برای تامین انرژی مشترکین بررسی می‌کند. شکل ۲-۲ مدل کلی سیستم را برای ارزیابی کفایت سیستم تولید نشان می‌دهد. که G نماینده ژنراتورهای مرسوم و WTG نماینده ژنراتورهای مزرعه بادی و LOAD نماینده بار کل سیستم است.



شکل ۲-۲: مدل کفایت در سیستم تولید

امنیت سیستم مربوط به توانایی سیستم قدرت برای تحمل اختلالات ناشی از وقوع اتصال کوتاه و یا از دست دادن غیر قابل پیش بینی عناصر سیستم از پیش آمدهای احتمالی مشخص، می‌باشد.

ارزیابی کفایت سیستم به دو روش احتمالی[۱] و قطعی[۲] تقسیم می‌شود. در روش قطعی، حاشیه‌ی ذخیره[۳] یک معیار قطعی است که برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم با مشخص کردن حاشیه‌ی تولید هدف، مورد استفاده قرار می‌گیرد و درصدی از ظرفیت اضافی نصب شده‌ی به بار پیک سالیانه است که از رابطه‌ی (۲-۱) بدست می‌آید [۷]:

$$\text{حاشیه ذخیره} = \frac{\text{ظرفیت نصب شده (MW)} - \text{بار پیک (MW)}}{\text{بار پیک}} \times ۱۰۰ = \quad (۲-۱)$$

حاشیه‌ی ذخیره بر حسب درصد بیان می‌شود، اما اگر سیستم بزرگ‌تر شود و از حالت اول پیچیده‌تر شود، دیگر حاشیه‌ی ذخیره به تنهایی برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم کافی نیست. بنابراین روش قطعی به این دلیل که فقط محاسبات حاشیه‌ی ذخیره را بکار می‌برد، باعث سرمایه گذاری بیش از حد در تولید و توسعه یا عدم قابلیت اطمینان کافی می‌شود، به این دلیل است که اغلب دست اندرکارانی که برای شبکه برنامه‌ریزی می‌کنند شاخص‌های احتمالی را بیشتر از حاشیه ذخیره بکار می‌برند. در روش قطعی، ظرفیت ذخیره مورد نیاز، برابر یا بزرگتر از ظرفیت بزرگترین واحد تولیدی می‌شود، با وجود اینکه

[۱] Probabilistic
[۲] Deterministic
[۳] Reserve Margin

این معیار اندازه‌ی بزرگترین واحد در سیستم را در نظر می‌گیرد، ولی ریسک سیستم را به هنگام از دست دادن واحدهای تولید مشخص نمی‌کند.

مهمترین عیب روش قطعی این است که در مقابل طبیعت تصادفی و احتمالی رفتار سیستم، تقاضای مشتریان و خطای اجزای سیستم عکس‌العملی نشان نمی‌دهد و میزان ریسک سیستم با این روش مشخص نمی‌شود.

روش احتمالی برای ارزیابی کفایت سیستم از دهه‌ی ۱۹۳۰ میلادی به‌کار می رود.

۲-۳- مقدمه‌ای بر احتمال و متغیرهای تصادفی

اگر T یک متغیر تصادفی پیوسته باشد و f(t) تابع چگالی احتمال آن باشد، احتمال اینکه متغیر تصادفی پیوسته T در فاصله‌ی a و b قرار بگیرد به صورت زیر تعریف می‌شود[۷]:

$$P(a < T < b) = \int_a^b f(t)dt \qquad (۲-۲)$$

همچنین احتمال اینکه متغیر تصادفی پیوسته‌ی T کمتر یا مساوی a باشد از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$F(T) = P(T \leq a) = \int_{-\infty}^a f(t)dt \qquad (۳-۲)$$

F(T) را تابع تجمعی T گویند.

۲-۴- مفهوم قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان احتمال توانایی انجام دادن صحیح مأموریت محوله به سیستم در شرایط معین و در دوره‌ی زمانی مشخص می‌باشد، به عبارت دیگر احتمال اینکه سیستم در شرایط ذکر شده عملکرد موفقیت آمیزی داشته باشد و دچار هیچ گونه خرابی نشود. تعریف قابلیت اطمینان شامل چهار بخش احتمال، عملکرد رضایت‌بخش، زمان معین و کار معین است. بخش احتمال این تعریف با یک عدد بیان می‌شود که همان شاخص قابلیت اطمینان می‌باشد ولی در ارزیابی سه بخش دیگر، احتمال نمی‌تواند کمکی کند. تعیین معیارهای عملکرد رضایت‌بخش بستگی به نوع سیستم و مصرف‌کننده دارد.

ارتباط بین قابلیت اطمینان را می توان به صورت شکل زیر نمایش داد:

نرخ خرابی سیستم که با $\lambda(t)$ نشان داده می‌شود به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{-1}{R(t)}\frac{dR(t)}{dt} \qquad (۴-۲)$$