دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

تاثیر نیروگاه‌های بادی بر کفایت تولید در سیستم‌های قدرت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

مظاهر حاجی‌باشی

استاد راهنما

دکتر اکبر ابراهیمی

۱۳۹۰

به نام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

تاثیر نیروگاه‌های بادی بر کفایت تولید در سیستم‌های قدرت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

مظاهر حاجی‌باشی

استاد راهنما

دکتر اکبر ابراهیمی

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق – قدرت آقای مظاهر حاجی باشی

تحت عنوان

تاثیر نیروگاه‌های بادی بر کفایت تولید در سیستم‌های قدرت

در تاریخ --/--/-- توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر اکبر ابراهیمی
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر احمد رضا تابش
۳- استاد داور	دکتر مهدی معلم
٤- استاد داور	دکتر غلامرضا یوسفی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

کوشایت ستایش است و کیست که ستایش تواند،

شیوه دوست در نیم است و هوایش جان را ستاند،

اراده حضرتش بر این قرار گرفت که نغمه مادر گوشه‌ی نای خوانده شود،

کز شیوه‌ی لطف دش نوای این آوا

آغاز نیست که پیش روی شماست.

مظاهر حاجی‌شی تابستان ۱۳۹۰

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به معلم زندگی پدرم و

استاد مهربانی مادرم

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول : مقدمه

۱-۱ جایگاه انرژی باد در تامین بار سیستم قدرت ۲

۱-۲ موضوع تحقیق وسابقه آن ۳

۱-۳ اهداف تحقیق ۷

۱-٤ ساختار پایان نامه ۸

فصل دوم : مزارع بادی

۲-۱ مقدمه ۱۰

۲-۲ تامین توان الکتریکی از انرژی باد ۱۰

۲-۳ منابع بادی ۱۳

۲-٤ نیروی باد ۱٤

۲-٥ مدلسازی سرعت باد ۱٦

۲-٦ توربین‌های بادی ۱۷

۲-۷ انواع مزارع باد ۱۸

۲-۸ انرژی باد در ایران ۲۰

۲-۹ جمع بندی فصل ۲۱

فصل سوم : بعضی از مفاهیم قابلیت اطمینان در سیستم قدرت

۳-۱ مقدمه ۲۲

۳-۲ تعریف قابلیت اطمینان ۲۲

۳-۳ متغیّر تصادفی ۲٤

۳-٤ توابع قابلیت اطمینان ۲٥

۳-٤-۱ تابع توزیع احتمال ۲٥

۳-٤-۲ تابع قابلیت اطمینان ۲٥

۳-٤-۳ تابع توزیع احتمال تجمعی ۲٦

۳-٤-٤ تابع نرخ خطا ۲٦

۳-٥ قابلیت اطمینان و مفهوم دسترس‌پذیری ۲۷

۳-٦ قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت ۲۷

۳-٦-۱ سطوح قابلیت اطمینان در سیستم قدرت ۲۸

۳-٦-۲ برآورد قابلیت اطمینان سیستم قدرت در HL۱: ۲۹

۳-۷ فرآیند مارکوف ۳۰
۳-۸ زنجیره مارکوف ۳۰
۳-۹ استفاده از فرآیند مارکوف در برآورد قابلیت اطمینان یک سیستم دو حالته ۳۲
۳-۱۰ مدلسازی یک سیستم چند حالته ۳٤
۳-۱۱ جمع بندی فصل ۳۷
فصل چهارم : مدلسازی نیروگاه بادی به روش مارکوف و برآورد شاخص‌های کفایت سیستم قدرت
٤-۱ مقدمه ۳۸
٤-۲ مدلسازی مزرعه بادی ۳۸
٤-۳ مدل نیروگاه بادی بر اساس اطلاعات واقعی سرعت باد ٤٤
٤-٤ روش بازگشتی ۵۱
٤-۵ سیستم تست RBTS و RBTS تغییر یافته ۵۲
٤-٦ مدل سیستم تولید(RBTS تغییر یافته) ۵۳
٤-۷ مدل بار ۵٤
٤-۸ شاخص‌های قابلیت اطمینان ۵۵
٤-۹ جمع بندی فصل ۵۸
فصل پنجم : بررسی جنبه‌های مختلف تاثیر نیروگاه‌های بادی بر شاخص‌های کفایت سیستم
۵-۱ مقدمه ۵۹
۵-۲ مقایسه منابع بادی مختلف و تاثیر آن بر شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم قدرت ٦۰
۵-۳ استفاده از توربین‌های بادی با توان نامی متفاوت و تاثیر آن بر شاخص‌های قابلیت اطمینان ٦۲
۵-٤ استفاده از توربین بادی با توان نامی یکسان و منحنی مشخصه متفاوت ٦٦
۵-۵ تغییر الگوی وزش باد و تاثیر آن بر شاخص‌های قابلیت اطمینان ٦۸
۵-٦ مقایسه نتایج دو روش مارکوف وشبه مارکوف در تاثیر الگوی وزش باد بر شاخص های قابلیت اطمینان سیستم قدرت ۷۷
۵-۷ مقایسه عملکرد نیروگاه‌های بادی و نیروگاه‌های حرارتی در تامین سطح شاخص‌های کفایت ۷۹
۵-۸ الگوریتم انتخاب ظرفیت نامی نیروگاه بادی برای یک سایت مشخص ۸۹
۵-۹ هزینه‌های تراز ۹۱
۵-۱۰ جمع بندی فصل ۹٤
فصل ششم : نتیجه گیری
٦-۱ نتیجه گیری و جمع بندی ۹٦
٦-۲ پیشنهادات ۹۹
مراجع ۱۰۰

چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل افزایش دمای متوسط کره زمین، بشر به دنبال روش‌های جایگزین برای تامین توان الکتریکی مورد نیاز خود بوده و همچنین در اکثر نقاط جهان سوزاندن سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های حرارتی به عنوان مهم‌ترین روش تولید توان الکتریکی مطرح بوده است. به دلیل توجه به مسایل زیست محیطی، استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر در سال‌های اخیر شدت یافته است. نیروگاه‌های بادی به عنوان یک منبع تولید توان الکتریکی، در سیستم‌های قدرت امروزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مقایسه با دیگر منابع انرژی تجدیدپذیر، رشد استفاده از نیروگاه‌های بادی چشمگیر است. این نوع منبع تولید توان به دلیل سرعت متغیّر باد، توان خروجی متغیّری داشته و به همین دلیل از جنبه‌های مختلفی بر سیستم قدرت تاثیر می‌گذارد. با توجه به رقابتی شدن بازار برق و هزینه‌های بالای قطع برق، قابلیت اطمینان سیستم قدرت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم قدرت، سطح قابلیت اطمینان آن را مشخص می‌کنند و بر اساس آن‌هاتعیین می‌شود که سیستم قدرت مورد مطالعه تا چه حد قابل اطمینان است. این شاخص‌ها سیستم را از جنبه‌های مختلفی مورد بررسی قرار می‌دهند. شاخص‌های کفایت، توانایی سیستم قدرت را در تامین بار مورد تقاضا مورد بررسی قرار می‌دهند. با بررسی این شاخص‌ها، عملکرد سیستم قدرت برای تامین بار مورد تقاضا، سنجیده شده و برای آن برنامه ریزی می‌شود. با گسترش استفاده از نیروگاه‌های بادی بزرگ و کوچک در سیستم‌های قدرت امروزی، مطالعه تاثیر آن‌ها بر شاخص‌های کفایت ضروری به نظر می‌رسد. تاکنون روش‌های متعددی برای مدلسازی سیستم قدرت شامل نیروگاه‌های بادی ارایه شده است. بخش اصلی این روش‌ها چگونگی مدلسازی رفتار متغیّر سرعت باد است.

در این پایان نامه به مدلسازی نیروگاه بادی بر اساس روش مارکوف پرداخته می‌شود. با استفاده از این روش تاثیر در نظر گرفتن احتمال تغییردر بین حالت‌های توان خروجی نیروگاه بادی؛ بر شاخص‌های کفایت سیستم بررسی می‌گردد این در حالیست که روش‌های مرسوم که از تابع توزیع احتمال برای مدلسازی سرعت باد استفاده می‌کنند، از این قابلیت برخوردار نیستند. در روش مذکور برای مدلسازی مزرعه بادی از اطلاعات واقعی سرعت باد به مدت یکسال در شهرهای خاف، اهر آفریز و فدشک استفاده شده و تاثیر انتخاب منابع بادی مختلف برای احداث نیروگاه‌های بادی ، بر شاخص‌های کفایت سیستم قدرت بررسی شده است. نیروگاه بادی به عنوان جزیی از واحدهای تولید توان در سیستم قدرت به شمار می‌رود از این رو، در این پروژه برای بدست آوردن شاخص‌های کفایت، نیروگاه بادی به روش بازگشتی به سیستم تولید توان RBTS اضافه شده است. توربین‌های بادی به کار رفته در مزرعه بادی بر توان خروجی آن مزرعه تاثیر می‌گذارند، لذا تاثیرانتخاب توان نامی توربین بر شاخص‌های کفایت سیستم قدرت شامل مزرعه بادی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. نیروگاه‌های بادی می‌توانند تا حد خاصی شاخص‌های کفایت را بهبود بخشند. برای توجه به این نکته مفهوم ظرفیت بحرانی معرفی گردیده و همچنین الگوریتم تعیین ظرفیت نامی نیروگاه بادی مناسب برای یک سایت خاص پیشنهاد شده است. نحوه بهبود شاخص‌های کفایت با افزایش ظرفیت نامی نیروگاه‌های بادی موجود در سیستم، نسبت به حالتی که نیروگاه‌های معمولی سطح مطلوب شاخص‌های کفایت را تامین می‌کنند، متفاوت است. برای بررسی تاثیر نیروگاه‌های بادی بر توانایی تامین بار مورد تقاضای سیستم قدرت و مقایسه آن با نیروگاه‌های معمولی، سناریوهای پنج ساله در نظر گرفته شده است. در این سناریوها توانایی تامین سطح مطلوب شاخص ریسک توسط نیروگاه‌های بادی و نیروگاه‌های معمولی با هم مقایسه می‌شود.

کلمات کلیدی: ۱- انرژی‌های تجدید پذیر ۲- نیروگاه‌های بادی ۳- قابلیت اطمینان سیستم قدرت ٤-شاخص‌های کفایت

فصل اول
مقدمه

۱-۱ جایگاه انرژی باد در تامین بار سیستم قدرت

در سال‌های اخیرعزمی جهانی برای جلوگیری از تولید گازهای گلخانه‌ای که به عنوان مهم‌ترین عامل افزایش دمای کره زمین محسوب می‌شوند، بوجود آمده است. استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر برای تولید توان الکتریکی، یکی از راهکارهای عدم تولید این گازها است. انرژی باد، انرژی خورشیدی، انرژی زمین گرمایی، انرژی جریآن‌های آب در رودخانه ها و جریان های زیر سطحی اقیانوسی و انرژی امواج دریا به عنوان منابع انرژی تجدید پذیر شناخته می‌شوند. بسته به منطقه جغرافیایی، منابع انرژی تجدید پذیر در اکثر نقاط جهان در دسترس هستند. بنابراین برتری‌های سیاسی و اقتصادی ناشی از سوخت‌های فسیلی از میان خواهند رفت و در عوض پیشرفت‌های تکنولوژیک جایگاه خود را بیش از پیش باز خواهند یافت.

استفاده از نیروگاه‌های بادی در بین منابع انرژی تجدید پذیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این منبع تولید توان متغیّر، سیستم قدرت را از جهات مختلف تحت تاثیر قرار می‌دهد. بدون شک می‌توان گفت که در آینده نزدیک، نیروگاه‌های بادی از مهم‌ترین منابع تولید توان الکتریکی خواهند بود.

امروزه انتظار می‌رود سیستم قدرت برق را بدون وقفه و با بیشترین کیفیت به دست مصرف کننده برساند. بنابراین بحث قابلیت اطمینان سیستم قدرت جایگاه ویژه‌ای خواهد داشت. قابلیت اطمینان سیستم قدرت را با استفاده از شاخص‌های قابلیت اطمینان توصیف می‌کنند. به طور مثال شاخص‌های مشتری محور، قابلیت اطمینان سیستم قدرت را در سیستم‌های توزیع مورد بررسی قرار می‌دهند. بررسی کفایت سیستم قدرت در تامین بار مورد تقاضا نیز به عنوان بخشی از مطالعات قابلیت اطمینان سیستم قدرت شناخته می‌شود. شاخص‌های کفایت، توانایی سیستم قدرت را در تامین بار مورد تقاضا بررسی می‌کنند. نیروگاه‌های بادی به عنوان بخشی از سیستم تولید توان در سیستم قدرت شناخته می‌شوند، بنابراین بررسی تاثیر این نوع منبع تولید توان بر شاخص‌های کفایت سیستم ضروری به نظر می‌رسد.

۱-۲ موضوع تحقیق وسابقه آن

وقتی از حفظ قابلیت اطمینان سیستم قدرت صحبت می‌شود، یکی از اهداف اصلی جلوگیری از شرایطی است که سیستم به لحاظ سطح تولید توان دچار مشکل گردد. بررسی کفایت سیستم قدرت در واقع بررسی شاخص‌هایی است که بر اساس آن‌ها توانایی سیستم در تامین بار مورد تقاضا سنجیده می‌شود[۱]. امروزه نیروگاه‌های بادی در میان منابع انرژی تجدید پذیر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. موضوع این تحقیق، بررسی تاثیر نیروگاه‌های بادی برتوانایی سیستم قدرت در تامین بار مورد تقاضا است.

برای بررسی شاخص‌های کفایت سیستم قدرت تاکنون از روش احتمالاتی و غیر احتمالاتی(غیر قطعی) استفاده شده است[۲]. امروزه استفاده از روش‌های غیر احتمالاتی منسوخ شده است چون در آن‌ها رفتار اتفاقی اجزای تشکیل دهنده سیستم قدرت در نظر گر فته نمی‌شود. روش‌های امروزی را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد.

- روش‌های تحلیلی

- روش‌های شبیه سازی

در روش اول سیستم به صورت ریاضی مدل می‌گردد و شاخص‌های قابلیت اطمینان با استفاده از روابط ریاضی محاسبه می‌شوند. در روش دوم بر اساس تولید اعداد تصادفی مبتنی بر توابع توزیع احتمال مناسب، رفتار اتفاقی سیستم مدلسازی می‌شود. سپس با ترکیب وضعیت‌های مختلف هر جز از سیستم(حالت خطا، حالت عادی، حالت عملکرد با ظرفیت کاهش یافته)و تحلیل اثرات این حالات بر وضعیت عملیاتی کل مجموعه مورد مطالعه، شرایط مختلف سیستم از لحاظ عملکرد یا عدم عملکرد صحیح، تعیین می‌گردند. از روش‌های به کار رفته در این زمینه می‌توان به روش مونت کارلو و روش‌های مونت کارلو چند حالته[1] اشاره نمود[۳].

روش‌های شبیه سازی برای سیستم‌هایی با رفتار بسیار اتفاقی مناسب هستند اما در این روش‌ها حجم محاسبات بالایی برای بدست آوردن شاخص‌ها نیاز است. از سوی دیگر، روش تحلیلی قابل ساده سازی است، حتی تا جایی که دقت آن از دست می‌رود بنابراین هر دو روش دارای نقاط قوت و ضعف مختص خود هستند[٤].

البته انتخاب روش مورد استفاده به سیستم مورد مطالعه و داده‌های در دسترس از سیستم مورد نظر نیز بستگی دارد. روش‌های شبیه سازی معمولا زمان بر هستند. البته زمان محاسبات به امکانات محاسباتی موجود بستگی دارد اما اگر نتایج دقیق برای یک سیستم مورد نیاز باشد، روش‌های تحلیلی نسبت به روش‌های شبیه‌سازی ارجحیت دارند. روش‌های تحلیلی سیستم را بسته به دقت مورد نظر مدلسازی کرده و نتایج دقیقی را در زمانی کوتاه، برای برنامه ریزی سیستم قدرت ارایه می‌کنند[٦]-[٥].

مدلسازی نیروگاه‌های بادی به منظور بررسی شاخص‌های کفایت سیستم قدرت شامل آن، دارای پیچیدگی‌های بیشتری نسبت به نیروگاه‌های معمولی است[۸-۷] و ظرفیت تولید هر توربین در یک مزرعه بادی، بسته به نیروی باد در دسترس تغییر می کند. مشکل بعدی در مدلسازی نیروگاه‌های بادی، رابطه غیر خطی توان خروجی توربین بادی و سرعت باد است[۹]. در بحث مدلسازی نیروگاه‌های بادی برای بررسی قابلیت اطمینان سیستم قدرت نیز می‌توان دسته بندی روش‌های مدل سازی را همان طورکه قبلا به آن اشاره شد، به صورت ***شبیه سازی*** و ***تحلیلی*** تقسیم کرد.

---

[1] Multi state Monte-Carlo simulation

از دسته روش‌های شبیه‌سازی می‌توان به روش ARMA[۱] [۱۰] یا روش الگوریتم‌های ژنتیک و منطق فازی[۲] اشاره کرد[۱۱]. در [۱۲] از روش مونت‌کارلو استفاده شده است. در این روش‌ها اطلاعات سرعت باد بر اساس یک تابع توزیع احتمال شبیه سازی می‌شوند. معمولا توزیع احتمال برای سایت‌های مختلف بادی توزیع ویبال در نظر گرفته می‌شود. در [۱۳] نیز با استفاده از روش شبیه سازی ترتیبی، به مدل سازی توان تولیدی نیروگاه‌های بادی پرداخته شده است. مراحل مدلسازی سیستم تولید توان در این مرجع به سه بخش منبع باد، توربین بادی و مزرعه تقسیم شده است.

البته برخی مراجع نیز ابتدا سرعت باد را بر اساس روش‌های شبیه‌سازی، مدل نموده و سپس شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم را به روش تحلیلی بدست آورده‌اند[۵]. در این مرجع، یک مدل عمومی برای مدلسازی نیروگاه‌های بادی که از نظر میانگین سالانه سرعت باد مشابه هستند، معرفی شده و در نهایت شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم قدرت شامل نیروگاه بادی بدست آمده است .

برای قابل قبول بودن داده‌های شبیه سازی شده سرعت باد، به اطلاعات بلند مدت سرعت باد در سال‌های گذشته نیاز است. به عنوان مثال معمولا دسترسی به این حجم از اطلاعات، برای یک سایت خاص یا یک سایت بادی تحت مطالعات امکان سنجی، ممکن نیست و در صورت عدم دسترسی به اطلاعات کافی، شبیه‌سازی دقت لازم را نخواهد داشت [۱٤]. اشکال دیگر روش‌های شبیه سازی، احتمال عدم همگرایی نتایج است[۱۵].

روش‌های تحلیلی را نیز می‌توان به دودسته روش‌های کلاسیک و روش‌های فرکانس و مدت[۳] تقسیم بندی کرد. روش‌های کلاسیک تنها احتمال رخداد حالت‌های توان خروجی مزرعه بادی را در نظر می‌گیرند اما در روش فرکانس و مدت می‌توان شاخص‌های بیشتری را مد نظر قرار داد[۱۹-۱٦]. در این روش، علاوه بر احتمال رخداد یک بازه در اطلاعات سرعت باد، احتمال تغییر حالت از یک بازه به بازه دیگر نیز در نظر گرفته می‌شود.

در [۲۰] پس از محاسبه توان تولیدی توربین بادی، با استفاده از سرعت باد یک تابع توزیع احتمال برای حالت‌های گسسته توربین انتخاب شده است. در این مرجع اطلاعات بیست ساله سرعت باد با استفاده از توزیع نرمال

---

[۱] Auto regressive and moving average

[۲] Fuzzy logic

[۳] Frequency and Duration

مدل سازی شده و با خطی سازی منحنی سرعت – توان توربین بادی، مدل توان خروجی مزرعه بادی بدست آورده شده است.

با توجه به مطالعات انجام شده، عوامل مختلفی بر شاخص‌های کفایت سیستم قدرت شامل نیروگاه‌های بادی تاثیر می‌گذارند. علاوه بر سرعت باد و FOR[1] توربین‌های بادی که تاثیر زیادی در شاخص‌های قابلیت اطمینان دارند، موارد دیگری نیز بر این شاخص‌ها اثر گذارند. در [۲۱] تاثیرات عوامل محیطی سایت محل نصب مزرعه بادی مانند ارتفاع، فشار هوا، ضریب همبستگی[2] سرعت باد و چگالی هوا بر توان خروجی مزرعه بادی به طور کامل بررسی شده است. این عوامل توان خروجی بدست آمده از منحنی سرعت - توان را که توسط سازنده توربین در شرایط محیطی خاص ارایه می‌شود، تحت تاثیر قرار می‌دهند.

در [۲۲] تاثیر تکنولوژی به کار رفته در توربین بادی در انواع سرعت ثابت[3] وسرعت متغیّر[4] و تاثیر نرخ خرابی و تعمیر جعبه دنده توربین‌ها بر شاخص‌ها به طور کامل بررسی شده است. هم چنین تاثیر مقدار نامی توربین‌ها برFOR توربین‌های ساخت شرکت‌های مختلف در کشورهای دانمارک و آلمان و آمریکا بر اساس اطلاعات آماری واقعی بررسی شده است. بر اساس مراجع معرفی شده تا کنون، عوامل تاثیر گذار بر شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم قدرت شامل نیروگاه بادی به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند.

۱-عواملی که موجب تغییر در تابع توزیع احتمال سرعت باد یا توان خروجی توربین می‌شوند.

۲-عواملی که باعث خارج شدن توربین بادی از مدار یا خطا در آن می‌شود.

حال این سوال مطرح می‌شود که‌آیا تابع توزیع احتمال می‌تواند تاثیر تمامی جنبه‌های رفتار سرعت باد را بر شاخص‌های قابلیت اطمینان پوشش دهد؟

مراجع [۲۳] و [۲٤]، با استفاده از ساختارهای روش فرکانس و مدت به مدلسازی نیروگاه‌های بادی پرداخته‌اند. در این مراجع نیروگاه بادی با استفاده از روش زنجیره‌های مارکوف مدلسازی شده است. مشکل روش این دو مرجع زیاد بودن تعداد حالات نهایی سیستم مورد مطالعه پس از مدلسازی است. این موضوع حجم محاسبات

---

[1] Forced outage rate

[2] Correlation factor

[3] Fixed speed

[4] Variable speed

لازم برای بدست آوردن شاخص‌های قابلیت اطمینان را افزایش داده و استفاده از روش مذکور را برای مدلسازی مزارع بادی بزرگ ناممکن می‌سازد.

مرجع [۲۵] ، مشکل مراجع[۲۳] و [۲٤] را در مدلسازی مزارع بادی بزرگ حل کرده است. همچنین در این روش برای مدلسازی مزرعه باد از اطلاعات یک ساله سرعت باد استفاده شده است بنابراین، این روش برای مطالعه سایت‌های بادی که در آن‌ها، اطلاعات طولانی مدت سرعت باد در دسترس نیست مناسب خواهد بود.

به‌رغم استفاده از روش فرکانس و مدت که قابلیت‌های بیشتری برای مدلسازی رفتار سرعت باد در اختیار قرار می‌دهد، در مراجع[۲۵-۲۳]، نیز تنها تاثیر تغییر FOR توربین‌های بادی، تعداد حالت‌های در نظر گرفته شده برای مدل توان تولیدی مزرعه بادی و به طور کلی عواملی که تابع توزیع احتمال توان خروجی توربین را تحت تاثیر قرار می‌دهند؛ بر شاخص‌های کفایت سیستم قدرت بررسی شده است. مرجع[۲٦] روش مارکوف را برای تحلیل منابع بادی مختلف مناسب دانسته است. در روش مارکوف علاوه بر احتمال رخداد حالت‌ها می‌توان، چگونگی تغییر حالت‌ها را نیز مد نظر قرار داد. در واقع امکان مطالعه شدت تغییرات سرعت باد، یکی از مزایای روش فرکانس و مدت می‌باشدکه با استفاده از این قابلیت، مطالعه دقیق‌تر تاثیر رفتار سرعت باد بر شاخص‌های قابلیت اطمینان امکان پذیر خواهد بود. در این تحقیق تاثیر در نظر گرفتن این موضوع بر شاخص‌های قابلیت اطمینان بررسی می‌شود که در مراجع [۲۵-۲۳] به آن توجهی نشده است.

۱-۳ اهداف تحقیق

نیروگاه‌های بادی به طور گسترده در سیستم‌های قدرت امروزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ازسوی دیگر توان خروجی نیروگاه‌های بادی بسیار متغیّر است و عوامل متعددی در توان خروجی مزارع بادی موثر هستند که از آن جمله می‌توان به نوع توربین‌های بادی به کار رفته در مزرعه، توان نامی توربین‌ها و مشخصات رفتار سرعت باد در محل سایت اشاره نمود. بنابراین بررسی جنبه‌های مختلف تاثیر این نوع منابع تولید توان، بر توانایی تامین بار سیستم قدرت ضروری خواهد بود. شاخص‌های کفایت برای برنامه ریزی سیستم قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور مثال می‌توان برنامه توسعه ظرفیت نامی نیروگاه بادی در یک سیستم قدرت خاص را بر اساس این

شاخص‌ها تعیین کرد. بنابراین بررسی تاثیر نرخ تغییر بین حالت‌های سرعت باد یا توان خروجی مزرعه بادی بر شاخص‌های کفایت از اهمیت بالایی برخوردار است.

بر اساس آنچه گفته شد اهداف مورد نظر در این تحقیق، پاسخ به سوالات زیرخواهد بود:

۱. در نظر گرفتن احتمال تغییر بین حالت‌های توان خروجی مزرعه بادی چه تاثیری بر شاخص‌های کفایت خواهد داشت؟
۲. آیا توان نامی توربین‌های به کار رفته در مزرعه بادی بر شاخص‌های کفایت موثر است؟
۳. مشخصات توربین‌های مورد استفاده در مزرعه، چگونه شاخص‌های کفایت سیستم قدرت شامل نیروگاه بادی را تحت تاثیر قرار می‌دهند؟
٤. اگر مزرعه بادی از لحاظ ظرفیت نامی توسعه یابد، رفتار شاخص‌های کفایت چگونه خواهد بود؟
۵. نیروگاه‌های معمولی در بهبود شاخص‌های کفایت موثرترند یا نیروگاه‌های بادی؟

در این تحقیق، برای پاسخ به سوالات فوق ابتدا نیروگاه بادی به روش فرکانس و مدت مدلسازی می‌شود. همان طور که در بخش ۱-۲ اشاره شد در روش فرکانس و مدت می‌توان احتمال تغییر وضعیت در بین حالات مختلف توان خروجی نیروگاه بادی را نیز در نظر گرفت. سپس نیروگاه بادی به روش بازگشتی به واحدهای تولید توان در سیستم قدرت تست RBTS[1] اضافه می‌گردد و شاخص‌های کفایت برای سیستم RBTS تغییر یافته محاسبه می‌شوند. مقایسه شاخص‌های کفایت بدست آمده برای سیستم قدرت جدید با شاخص‌های کفایت مربوط به RBTS بدون نیروگاه بادی می‌توان تاثیر این منبع تولید توان را بر شاخص‌ها مورد بررسی قرار داد.

۱-٤ ساختار پایان نامه

آنچه در این تحقیق به آن پرداخته می‌شود به ترتیب زیر خواهد بود. در فصل دوم، کلیاتی در مورد نیروگاه‌های بادی مطرح می‌شود و انواع مزارع بادی مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین با ارایه آمارهای میزان نصب نیروگاه‌های بادی در دنیا و مقایسه آن با نیروگاه‌های خورشیدی، اهمیت استفاده از انرژی باد در تولید توان

[1] Roy Billinton Test System

الکتریکی تبیین می‌شود. در فصل سوم بعضی از مفاهیم اصلی قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت بررسی می‌شوند. در این میان مفهوم قابلیت اطمینان و دسترس پذیری توضیح داده می‌شود و فرآیند مارکوف به عنوان یک روش برای مدلسازی اجزاء سیستم قدرت در مطالعات قابلیت اطمینان معرفی می‌گردد. نیروگاه‌های بادی به عنوان یک جزء از واحدهای تولید توان در سیستم قدرت امروزی شناخته می‌شوند لذا در فصل چهارم شیوه مدلسازی نیروگاه بادی بر اساس روش مارکوف معرفی می‌گردد. همچنین شاخص‌های کفایت برای سیستم قدرت تست RBTS شامل نیروگاه بادی محاسبه می‌شوند. در فصل پنجم به تحلیل نتایج و بررسی جنبه های مختلف تاثیر نیروگاه‌های بادی برشاخص‌های قابلیت اطمینان پرداخته خوهد شد. در نهایت نتیجه گیری از مطالعات انجام شده و پیشنهادات برای انجام کارهای بعدی نیز در فصل ششم ارایه خواهند شد.

فصل دوم
مزارع بادی

۲-۱ مقدمه

در این فصل به بررسی کلیات نیروگاه‌های بادی می‌پردازیم. در ابتدا رفتارسرعت باد و نحوه مدلسازی آن توضیح داده می‌شود. مجموعه‌ای از توربین‌های بادی، همراه با تجهیزات لازم برای مانیتورینگ، کنترل، حفاظت و بهره برداری از آن‌ها، یک مزرعه بادی را تشکیل می‌دهند. در ادامه انواع توربین‌های بادی و همچنین مزارع بادی مختلف معرفی می‌گردند. در پایان فعالیت‌های انجام شده در ایران برای بهره برداری از انرژی باد معرفی خواهد شد.

۲-۲ تامین توان الکتریکی از انرژی باد

بشر همواره به دنبال تامین انرژی مورد نیاز خود بوده است. امروزه انرژی الکتریکی به عنوان یک منبع موثر تامین انرژی شناخته می‌شود. برای تولید توان الکتریکی به مدت طولانی از منابع اولیه فسیلی استفاده می‌شده است و تحقیقات زیادی برای بهبود روش‌های بهره برداری و تبدیل این منابع اولیه به انرژی الکتریکی صورت گرفته است. نیروگاه‌های حرارتی از عمده ترین روش‌های تبدیل انرژی سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی هستند.