

ارائه مدلی جدید برای سرعت باد به منظور ارزیابی کفایت تولید توربین بادی در سایت های دفاعی

علیرضا عابدی^۱، محمدصادق سپاسیان^{۲*}، محسن طالب پور^۳، عبدالعلی حقیری^۴

۱- کارشناس ارشد ۲- استادیار دانشگاه شهید بهشتی - پردیس شهید عباسپور

۳- کارشناس ارشد دانشگاه امام حسین (ع) ۴- دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(دریافت: ۹۳/۰۷/۰۴، پذیرش: ۹۴/۰۳/۰۴)

چکیده

تأمین انرژی الکتریکی پایگاه های استقرار نیروهای مسلح با قابلیت اطمینان بالا اهمیت زیادی دارد، زیرا نیروگاه ها و شبکه توزیع برق امکان مورد اصابت قرار گرفتن و ایجاد اختلال توسط دشمن را دارند. بنابراین از واحدهای تولید پراکنده به ویژه انرژی بادی برای تأمین توان مورد نیاز استفاده می شود. اما وابستگی سرعت باد به زمان و عدم قطعیت آن تأثیر چشمگیری بر توان خروجی توربین بادی و ارزیابی کفایت تولید دارد. بنابراین توسعه مدل مناسب برای سرعت باد برای حاصل شدن نتایج دقیق برای ارزیابی کفایت تولید اهمیت زیادی دارد. در مقاله حاضر، سرعت باد با روش های سری زمانی، تابع توزیع ویبال ساعتی مدل سازی شده که سری زمانی حجم و زمان محاسبات کمی داشته ولی دقت مناسبی ندارد و مدل ویبال ساعتی دارای دقت بالا با حجم و زمان محاسبات زیادی است. برای غلبه بر مشکلات بیان شده، این مقاله مدل جدیدی را برای سرعت باد پیشنهاد می دهد که در آن الگوهای سرعت باد با استفاده از شبکه عصبی خودسامان ده دسته بندی شده و از شبیه سازی مونت کارلو برای ارزیابی کفایت تولید استفاده شده که دارای دقت مناسب با حجم و زمان محاسبات کمتری نسبت به دو روش تابع توزیع ویبال ساعتی و سری زمانی است. مطالعات ارزیابی کفایت سامانه در سطح HLI با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو و از شبکه RBTS به عنوان شبکه ی نظامی نمونه استفاده شده است.

کلید واژه ها: سرعت باد، دسته بندی با شبکه عصبی، شبیه سازی مونت کارلو و ارزیابی کفایت.

New Wind Speed Modeling in Order to Generation Adequacy Assessment of Wind Turbine in Defencive Sites

A. Abedi, M. S. Sepasian*, M. Talebpoor, A. Haghiri

Shahid Beheshti University-Abbaspour Campus

(Received: 26/09/2014; Accepted: 25/05/2015)

Abstract

Power supply of military sites with high reliability is an important issue since power stations and distributing networks are possible to be attacked and disturbed by the enemy. Thus, distributed generation units especially wind energy are used for the needed power supply. However, the intermittence and uncertainty of wind speed has an impressive effect on wind turbine power output and generation adequacy assessment. To obtain accurate result for generation adequacy assesment, it is very important to develop suitable model for wind speed. In this paper, wind speed is modeled with time series as well as hourly Weibull Pdf in which the former item has a lower accuracy and computational time in comparision with the latter one with inverse properties. In order to overcome the mentioned problem, this paper proposes a novel model for wind speed clustering pattern using self-organized neural network followed by Monte Carlo simulation for generation adequacy assessment which has better accuracy and computation time than those two hourly Weibull Pdf and time series method. The Roy Billinton Test System (RBTS) was used in the studie as military network and HLI adequacy assesment is done with Monte Carlo simulation.

Keywords: Wind Speed, Clustering with Neural Network, Monte Carlo Simulation, Adequacy Assessment.

* Corresponding Author E-mail: sepasian@pwut.ac.ir

۱. مقدمه

مدل‌سازی شود. مدل‌های پیشنهادی بر پایه اطلاعات گذشته سرعت باد در شبکه مورد مطالعه بوده و نحوه به‌کارگیری هر یک از این مدل‌ها در به‌دست آمدن نتایج دقیق اهمیت زیادی دارد. الگوی رفتاری سامانه در n حالت بهره‌برداری واقعی دارای جواب‌های مختلفی خواهد بود که شامل تعداد خطاها، زمان بین خطا و زمان تعمیرات خواهد بود. شبیه‌سازی مونت‌کارلو نیازمند زمان بالای محاسبات و حافظه برای مدل‌سازی مناسب سامانه است و این روش برای حل مسائل پیچیده که روش تحلیلی توانایی حل مسئله را ندارد، بسیار مناسب می‌باشد. این روش از تولید اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت بین اعداد ۰ تا ۱ استفاده می‌کند.

دو روش احتمالی برای مدل‌سازی خروجی توربین بادی ارائه شده است [۳]. اولین مدل احتمال خروج ظرفیت بر اساس تابع چگالی احتمال و دومین مدل بر اساس مدل مارکوف و جزئیات میانگین ساعتی سرعت باد است. در روشی احتمالی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت، منابع انرژی تجدیدپذیر پذیر ارائه شده است [۴]. در این روش از اطلاعات چندین ساله سرعت باد برای محاسبه پارامترهای تابع توزیع و بیبال برای هر یک از ساعات شبانه‌روز در چهار فصل سال استفاده شده است. در تحقیقی دیگر از روش تحلیلی برای مدل‌سازی رفتار منابع انرژی تجدیدپذیر با در نظر گرفتن همبستگی میان بار و منابع انرژی تجدیدپذیر استفاده شده است [۵]. در این حالت سامانه به دو زیرسامانه شامل منابع تجدیدپذیر و واحدهای متداول تقسیم شده و هر یک از این زیرسامانه‌ها مدل‌سازی شده و شاخص‌های قابلیت اطمینان محاسبه شده است. روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای ارزیابی قابلیت اطمینان با استفاده از مدل‌سازی تصادفی خروجی توربین بادی و بار سامانه برای مدت زمان طولانی انجام شده است [۶]. روش احتمالی کلی برای مدل‌سازی خروجی توربین بادی که شامل چندین توربین بادی با مشخصه‌های متفاوت است، نیز گزارش شده است [۷]. از مدل و بیبال ساعتی برای مدل‌سازی سرعت باد استفاده شده و کفایت شبکه توزیع با دو روش تحلیلی و مونت‌کارلو در حالت اتصال به شبکه و جزیره‌ای بررسی شده است [۸]. از سری زمانی نیز برای مدل کردن رفتار تصادفی انرژی باد استفاده شده و ارزیابی قابلیت اطمینان واحدهای تولیدی با در نظر گرفتن هماهنگی میان واحدهای آبی و مزارع بادی صورت گرفته است [۹]. با استفاده از الگوریتم‌های دسته‌بندی Average K-means linkage خروجی پنل خورشیدی در مقیاس بزرگ دسته‌بندی شده و اثر آن بر پخش بار سامانه بررسی شده است [۱۰]. تأثیرات جهت تصادفی سرعت باد، تأخیر زمانی و موقعیت جغرافیایی بر مدل سرعت باد اعمال شده و مدل جامعی برای محاسبه توان خروجی توربین بادی و قابلیت اطمینان سامانه بررسی شده است [۱۱]. برای ارزیابی کفایت سامانه قدرت از یک مدل احتمالی برای توربین بادی با در نظر گرفتن خرابی توربین و متغیر با زمان بودن سرعت باد استفاده شده است که این مدل قابلیت انطباق با مدل واحدهای تولیدی متداول را دارد [۱۲]. برای ارزیابی کفایت

از اقداماتی که در زمان جنگ توسط دشمن انجام می‌شود، می‌توان به ایجاد اختلال در کار نیروگاه‌ها، شبکه‌های توزیع، تأسیسات الکتریکی و به طور کلی برق‌رسانی به ویژه به محیط‌های حساس و مهم از جمله پایگاه‌های استقرار نیروهای مسلح اشاره کرد. علاوه بر این، درصد عمده‌ای از مصرف کشور توسط نیروگاه‌هایی تأمین می‌شود که در صورت خاموشی، راه‌اندازی مجدد آن‌ها زمان‌بر است و در صورت خاموشی‌های گسترده و طولانی مدت در پایگاه‌های استقرار نیروهای مسلح، ارتباط یگان‌ها و عملیات لجستیکی و تدارکات مختل می‌شود. بنابراین فرصت کافی برای دشمن ایجاد شده تا بتواند خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را بدون دادن تلفات تحمیل کند. در این شرایط تأمین انرژی الکتریکی با قابلیت اطمینان بالا برای مراکز راهبردی نظامی دارای اهمیت فراوانی است. بدین منظور از واحدهای تولید پراکنده برای تأمین انرژی مورد نیاز پایگاه‌های استقرار نیروهای مسلح در شرایط بحرانی استفاده می‌شود.

توانایی سامانه قدرت برای تأمین باکیفیت انرژی مورد نیاز مشترکین توسط قابلیت اطمینان سامانه سنجیده می‌شود. ارزیابی قابلیت اطمینان سامانه شامل ارزیابی کفایت و امنیت سامانه است. شاخص‌های کفایت توانایی سامانه قدرت برای پاسخگویی به تقاضای انرژی الکتریکی را بیان می‌کند. ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه در صورت به‌کارگیری منبع تولید پراکنده یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که برنامه‌ریز سامانه قدرت با آن مواجه می‌باشد. در گذشته بررسی قابلیت اطمینان شبکه در حضور منابع تولید پراکنده نادیده گرفته شده و این امر ناشی از مقدار ناچیز تولید انرژی توسط واحدهای تولید پراکنده به خاطر فقدان فناوری مناسب است. امروزه به‌کارگیری گسترده این منابع و افزایش سهم تولید ناشی از آن‌ها، باعث به وجود آمدن مشکلات اساسی در ارزیابی کفایت سامانه شده است.

در یک محیط رقابتی از سویی فروشندگان برق باید برای جلب نظر مصرف‌کنندگان و حفظ مزیت رقابتی خود به این مقوله توجه کنند و از سوی دیگر با پیشرفت سامانه‌های اطلاع‌رسانی و افزایش سطح آگاهی و حساسیت مصرف‌کنندگان، انتظارات آن‌ها در رابطه با قابلیت اطمینان افزایش یافته است [۱].

انرژی بادی به علت رشد فناوری ساخت توربین بادی، مزایای اقتصادی و اجتماعی و همچنین استفاده از انرژی پاک و رایگان باد بیشترین رشد را در میان واحدهای تولید پراکنده داشته است. در سال ۲۰۲۰ تولید انرژی الکتریکی توسط این واحدها ۲۰ درصد کل انرژی تولیدی اتحادیه اروپا خواهد بود [۲]. اما ویژگی متغیر با زمان بودن و عدم قطعیت سرعت باد موجب متغیر با زمان شدن خروجی توربین بادی شده است که در صورت به‌کارگیری گسترده این انرژی در شبکه، برای ارزیابی کفایت تولید باید سرعت باد به صورت دقیق

$$UP_{time} = -\frac{1}{\lambda} \times \ln(U) \quad (1)$$

$$Down_{time} = -\frac{1}{\mu} \times \ln(U) \quad (2)$$

در روابط فوق، UP_{time} زمان در دسترس ژنراتور، $Down_{time}$ زمان خارج از سرویس آن و U عدد تصادفی با توزیع یکنواخت بین اعداد ۰ و ۱ و مخالف ۱ است.

۲-۲. مدل سازی بار

در مقاله حاضر از اطلاعات پیک بار IEEE-RTS^۳ استفاده می‌شود که در آن، پیک بار هفتگی بر اساس درصدی از پیک بار سالیانه، پیک بار روزانه به صورت درصدی از پیک بار هفتگی و پیک بار ساعتی به صورت درصدی از پیک بار روزانه است [۱۵].

۲-۳. مدل سازی توربین بادی

توربین بادی انرژی جنبشی باد را به انرژی مکانیکی بر روی شفت تبدیل کرده و ژنراتور انرژی مکانیکی شفت را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. سه عامل اصلی تعیین کننده خروجی توربین بادی ارتفاع برج، توزیع سرعت باد در منطقه انتخاب شده و مشخصه خروجی توربین است. نحوه محاسبه توان خروجی توربین بادی از روی سرعت باد مطابق رابطه (۳) است [۱۶].

$$V_t p(v_t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq V_t < V_{ci} \\ (A + B \times V_t + C \times V_t^2) \times P_r V_{ci} \leq V_t < V_r \\ P_r & V_r \leq V_t < V_{\infty} \\ 0 & V_{\infty} \leq V_t \end{cases} \quad (3)$$

سرعت لحظه‌ای باد، V_{ci} حد پایین سرعت، V_r سرعت نامی، V_{∞} حد بالایی سرعت باد، P_r توان نامی، $P(V_t)$ توان خروجی توربین و A, B, C پارامترهای توربین بادی می‌باشند.

۲-۴. مدل سازی با سری زمانی

مدل سازی سرعت باد با استفاده از سری زمانی بر اساس این واقعیت انجام می‌شود که مشاهده سرعت باد در فواصل زمانی بسیار نزدیک به هم انجام می‌شود. سری زمانی شامل دو مؤلفه اطلاعات قبلی سرعت باد و نویز و اطلاعات اضافی سرعت باد است. میانگین سرعت باد و انحراف معیار آن برای محاسبه پارامترهای ARMA^۴ به کار گرفته می‌شود. برای مدل سازی سرعت باد با سری زمانی، اطلاعات ساعتی سالیان گذشته سرعت باد در هر ماه از سال جداسازی شده و ضرایب سری زمانی برای هر یک از این ماه‌ها به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. سپس از ضرایب سری زمانی هر ماه برای محاسبه سرعت باد در همان ماه استفاده می‌شود.

تولید، سرعت باد با روش‌های سری زمانی، توزیع نرمال، میانگین سرعت باد اندازه‌گیری شده و زنجیره مارکوف مدل سازی شده است [۱۳].

به کارگیری روش سری زمانی برای مدل سازی سرعت باد در محاسبه شاخص‌های کفایت سامانه در سطح HLI^۱ زمان محاسبات را کاهش داده اما باعث پایین آمدن دقت می‌شود. به کار بردن روش ویبال ساعتی در مدل سازی سرعت باد دقت محاسبات را بالا برده ولی باعث افزایش زمان محاسبات شده که در صورت پیچیده‌تر شدن شبکه و افزایش حجم مطالعات کاربرد خود را از دست می‌دهد. مقاله حاضر به دنبال روشی برای مدل سازی سرعت باد بوده که هم دقت مناسبی داشته و در صورت پیچیده‌تر شدن شبکه زمان محاسبات مناسبی داشته باشد. در سامانه پیچیده و غیرخطی که مدل سازی، پیش‌بینی و کنترل آن‌ها از طریق روش‌های کلاسیک و تحلیلی امری بسیار دشوار است، از روش‌های غیر کلاسیک که از ویژگی‌هایی همچون هوشمندی و خبرگی برخوردار هستند، استفاده می‌شود.

شبکه عصبی، یکی از این روش‌های بدیع و در حال تحول است که در موضوعات متنوعی از قبیل مدل سازی، دسته‌بندی، شناخت الگو و پیش‌بینی به کار رفته و نتایج بسیار مفیدی داشته است. شبکه عصبی از جنبه‌های توپولوژی، ساختاری و روش یادگیری به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند تا در هر یک در کاربردهای مدنظر عملکرد مناسبی داشته باشد. در این مقاله ایده دسته‌بندی اطلاعات سرعت باد با استفاده از شبکه عصبی خودسامان‌ده با هدف مدل سازی برای ارزیابی کفایت تولید شبکه نظامی مورد مطالعه در حضور انرژی بادی مطرح شده است.

۲. روش تحقیق

به منظور ارزیابی کفایت تولید در سطح HLI با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو باید واحدهای تولیدی متداول شبکه، بار و سرعت باد توربین بادی متصل به شبکه را به صورت مجزا مدل سازی شود. در ادامه این بخش نحوه مدل سازی هر یک از این اجزا به تفصیل بیان شده است.

۲-۱. مدل سازی واحدهای تولید متداول

در این مقاله از شبکه RBTS^۲ به عنوان شبکه نظامی نمونه برای ارزیابی کفایت تولید استفاده می‌شود. برای مدل سازی واحدهای تولیدی متداول با روش شبیه سازی مونت کارلو برای یک سال نمونه برای هر ژنراتور اعداد تصادفی تولید شده و این اعداد در رابطه (۱) و (۲) قرار داده شده و زمان در دسترس و خارج از سرویس هر یک از ژنراتورها به صورت جداگانه محاسبه می‌شود. با قرار دادن متوالی این دو عدد برای هر ژنراتور برای مدت زمان یک سال، الگوی تولیدی ژنراتور به دست می‌آید [۱۴].

³ Reliability Test System

⁴ Auto Regressive and Moving Average

¹ Hierarchical Level I

² Roy Billington Test System

۵-۲. مدل‌سازی با تابع توزیع ویبال ساعتی

رابطه تابع توزیع ویبال مطابق با رابطه (۶) بوده و به صورت موفقیت‌آمیز از دو پارامتر k و c استخراج می‌شود:

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_m}\right)^{-1.086} \quad (۴)$$

$$c = \frac{v_m}{\tau(1 + \frac{1}{k})} \quad (۵)$$

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (۶)$$

$$F(p) = 1 - e^{\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]} \quad (۷)$$

$$v = -c \ln(1-u)^{1/k} = -c \ln(w)^{1/k} \quad (۸)$$

در روابط فوق، k و c پارامترهای تابع توزیع ویبال، v_m میانگین، σ انحراف استاندارد، $f(v)$ تابع توزیع Weibull، $F(v)$ تابع توزیع تجمعی، w عدد تصادفی با توزیع یکنواخت بین ۰ تا ۱ و v سرعت باد است.

به منظور مدل‌سازی سرعت باد با این روش یک سال به ۸۷۶۰ قسمت تقسیم شده و از اطلاعات سرعت باد در n سال گذشته استفاده شده و میانگین و انحراف استاندارد برای هر ساعت از سال با استفاده از داده‌های همان ساعت در سال‌های گذشته محاسبه می‌شود. سپس معکوس تابع توزیع تجمعی برای هر یک از بازه محاسبه شده و برای مدل‌سازی با روش مونت‌کارلو برای یک سال نمونه ۸۷۶۰ عدد تصادفی ایجاد می‌شود و هر یک از این اعداد تصادفی در معکوس تابع توزیع تجمعی بازه ساعتی مربوطه‌اش قرار گرفته و سرعت باد برای هر بازه محاسبه می‌شود. ۸۷۶۰ سرعت در رابطه توربین بادی مطابق بخش ۳-۳ قرار می‌گیرد و توان تولیدی توربین بادی برای یک سال به صورت ساعتی محاسبه می‌شود. برای سال‌های بعدی مورد مطالعه اعداد تصادفی جدیدی تولید شده و روند ذکر شده تا رسیدن به آخرین تکرار در شبیه‌سازی مونت‌کارلو ادامه می‌یابد.

۶-۲. مدل پیشنهادی

در مقاله حاضر برای مدل‌سازی سرعت باد ایده دسته‌بندی الگوهای سرعت باد با شبکه عصبی خودسامان‌ده مطرح شده است. در ادامه جزئیات روش پیشنهادی به تفصیل بیان می‌شود.

دسته‌بندی با شبکه عصبی: ساختار شبکه عصبی شامل تعدادی پرسپترون با تابع عملکردی مشخص است که در لایه‌های مجزا قرار دارند. هر پرسپترون به واسطه ضرایب وزنی خود، خروجی تمامی پرسپترون لایه قبلی را جمع‌آوری کرده و از طریق تابع تبدیل به لایه بعدی ارسال می‌کند. شبکه عصبی دارای یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و حداقل یک لایه پنهانی است. تعداد پرسپترون در هر لایه متفاوت بوده و بستگی به ساختار شبکه و مسئله مورد نظر دارد.

مهم‌ترین عاملی که باید به آن توجه نمود به‌کارگیری یک الگوریتم مناسب برای آموزش شبکه است. الگوریتم یادگیری به دو دسته یادگیری با ناظر و بدون ناظر تقسیم می‌شود. در الگوریتم یادگیری با ناظر ورودی به شبکه عصبی اعمال شده و خروجی محاسبه می‌شود. سپس این خروجی با مقدار ایده‌آل مقایسه شده و مقدار خطا تعیین می‌شود. سپس پارامترهای شبکه عصبی دوباره با توجه به خطای به‌دست آمده تنظیم می‌شوند.

در الگوریتم یادگیری بدون ناظر (خودسامان‌ده) بردار جواب مطلوب به شبکه اعمال نمی‌شود. در این الگوریتم جواب به‌دست آمده در حافظه بلند مدت ذخیره شده و از همان ابتدا ورودی دسته‌بندی شده و با استفاده از حافظه مشارکتی بین آن‌ها ارتباط برقرار می‌شود. شبکه عصبی خودسامان‌ده دارای لایه‌های رقابتی که توانایی دسته‌بندی هر بردار در ابعاد مختلف و در تعداد دسته‌های متفاوت را داراست. نرون‌ها در توپولوژی دو بعدی مرتب شده و توانایی دسته‌بندی هر مجموعه اطلاعات را فراهم می‌کنند.

شاخص SI: برای ارزیابی داده‌های دسته‌بندی شده با شبکه عصبی خودسامان‌ده از شاخص SI استفاده می‌شود که مقداری بین ۱- و ۱ دارد. این شاخص هر چقدر به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد، بیانگر دسته‌بندی مناسب‌تر است.

$$Sil_i = \frac{Ba_i - Aa_i}{\max(Ba_i, Aa_i)} \quad (۹)$$

که در آن، Aa_i میانگین فاصله میان الگوی i و کل الگوهایی که در این دسته قرار دارند، Ba_i میانگین فاصله میان الگوی i و الگوهایی که در این دسته قرار ندارند و شاخص SI میانگین Sil_i است [۱۷].

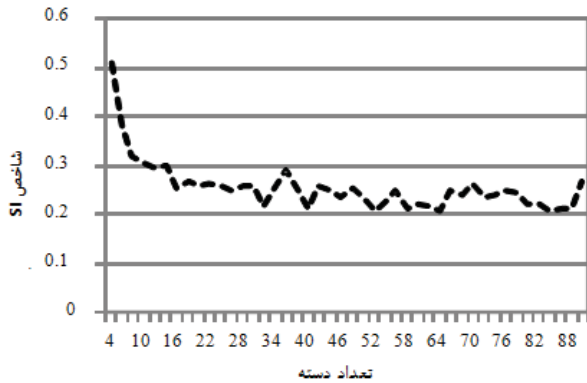
۷-۲. روش پیشنهادی

به منظور مدل‌سازی، از اطلاعات سرعت باد در n سال گذشته استفاده شده و داده‌های هر سال به چهار فصل و هر فصل به ۲۴ ساعت شبانه‌روز تقسیم و ۹۶ دسته تشکیل می‌شود. سپس داده‌های ساعات مشابه شبانه‌روز هر فصل در یک دسته قرار می‌گیرد و با ۹۱ روزه فرض کردن هر فصل داده $(۹۶ \times n) * ۹۱$ آماده می‌شود. داده‌های آماده شده با استفاده از شبکه عصبی خودسامان‌ده به ازای تعداد دسته‌های مختلف دسته‌بندی می‌شود و شاخص SI^1 برای هر دسته محاسبه شده و کمترین دسته پس از ناچیز شدن تغییرات شاخص SI به عنوان دسته مناسب انتخاب و احتمال، تابع تجمعی احتمال و نماینده هر دسته با استفاده از میانگین‌گیری برای دسته مناسب انتخاب می‌شود. اکنون برای شبیه‌سازی سرعت باد با روش مونت‌کارلو برای یک سال نمونه، ۹۶ عدد تصادفی ایجاد می‌شود و هر یک از این اعداد تصادفی با تابع تجمعی احتمال مقایسه شده و دسته متناظر انتخاب‌شده و الگوی سرعت باد برای ۹۶ بازه زمانی تعیین می‌گردد. اکنون سرعت‌های باد

¹ Silhouette Index

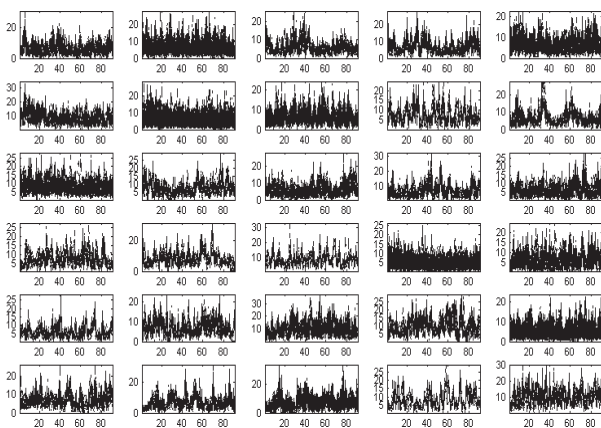
۳. نتایج و بحث

در مقاله حاضر از نرم‌افزار شبیه‌سازی MATLAB برای مدل‌سازی سرعت باد و انجام مطالعات قابلیت اطمینان استفاده شده است. بدین منظور از داده‌های سرعت باد در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ به صورت ساعتی استفاده شده است [۱۸]. این داده‌ها مطابق روش پیشنهادی مرتب شده و با استفاده از شبکه عصبی خودسامان‌ده به ازای تعداد دسته مختلف دسته‌بندی می‌شوند. در شکل (۲) شاخص SI به ازای تعداد دسته‌های مختلف نمایش داده شده است.



شکل ۲. شاخص SI برای دسته‌بندی الگوهای سرعت باد با شبکه عصبی خودسامان‌ده

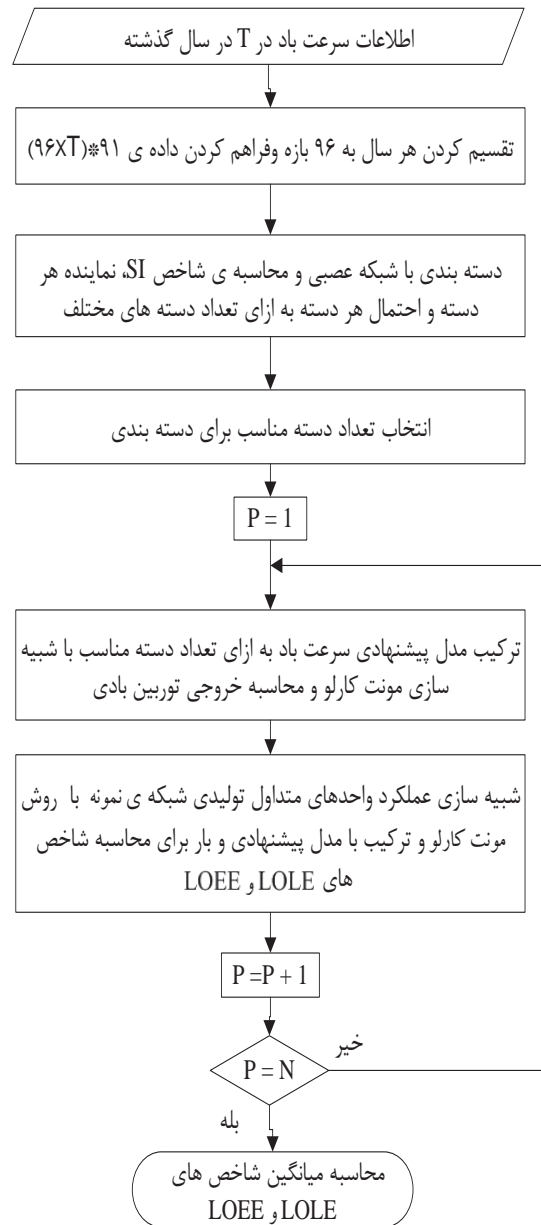
شکل (۲) بیانگر این مطلب است که بیشتر شدن تعداد دسته‌ها از نداشته و فقط منجر SI مقدار ۳۰ دسته تأثیر قابل توجهی بر شاخص به افزایش زمان محاسبات خواهد شد. بنابراین تعداد دسته ۳۰ به عنوان دسته مناسب انتخاب می‌شود که نحوه دسته‌بندی الگوهای سرعت باد به ازای تعداد ۳۰ دسته در شکل (۳) نمایش داده شده است.



شکل ۳. نحوه دسته‌بندی الگوهای سرعت باد با شبکه عصبی برای تعداد ۳۰ دسته

برای بررسی تأثیر مدل‌سازی سرعت باد بر شاخص‌های کیفیت سامانه، از یک توربین بادی ۱۰ مگاواتی به همراه واحدهای تولیدی متداول شبکه RBTS برای تأمین بار با پیک ۱۸۵ مگاوات استفاده شده است. در این حالت سرعت باد با روش‌های سری زمانی، و بیبال

ساعتی در مدل توربین بادی بیان شده در بخش ۲-۳ قرار داده شده و توان خروجی توربین بادی محاسبه می‌شود. سپس توان واحدهای متداول شبکه نمونه با شبیه‌سازی مونت‌کارلو مطابق روابط بخش ۲-۱ محاسبه شده و با مدل بار مطابق بخش ۲-۲ ترکیب شده و شاخص‌های کفایت^۱ LOLE و^۲ LOEE محاسبه می‌شود. برای سال بعدی مورد مطالعه با روش مونت‌کارلو اعداد تصادفی جدید تولید شده و روند ذکر شده تکرار می‌شود. در شکل (۱) دیاگرام الگوریتم پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل ۱. روش پیشنهادی برای مدل‌سازی سرعت باد

در دیاگرام روش پیشنهادی فوق، N تعداد سال‌های مورد مطالعه در شبیه‌سازی مونت‌کارلو می‌باشد.

^۱ Loss of Load Expectation

^۲ Loss of Energy Expectation

مختلف و برای انواع روش های مدل سازی سرعت باد نشان داده شده است. توان نامی توربین بادی به کار رفته ۱۰ مگاوات بوده و تعداد دسته در روش پیشنهادی ۳۰ است.

جدول ۲. شاخص کفایت به ازای پیک بار مختلف

LOEE			LOLE			پیک بار (%)
روش پیشنهادی	ویبال ساعتی	سری زمانی	روش پیشنهادی	ویبال ساعتی	سری زمانی	
۰/۰۰۴۹	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۸	۷۰
۰/۰۱۸۳	۰/۰۱۷۶	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۲۲	۷۵
۰/۰۶۸۵	۰/۰۶۳۷	۰/۰۴۷۶	۰/۰۱۱۴	۰/۰۱۰۶	۰/۰۰۷۹	۸۰
۰/۲۳۳۴	۰/۲۱۹۲	۰/۱۵۴۳	۰/۰۳۳۳	۰/۰۳۱۵	۰/۰۲۲۱	۸۵
۰/۶۳۷۲	۰/۶۰۹۴	۰/۴۳۷۶	۰/۰۷۵۸	۰/۰۷۱۹	۰/۰۵۱۲	۹۰
۱/۶۰۳۸	۱/۴۹۲۱	۱/۰۱۴۷	۰/۱۸۳۲	۰/۱۷۲۴	۰/۱۲۱۳	۹۵
۷/۰۰۸۷	۶/۶۷۷۶	۴/۳۵۱۷	۰/۷۸۶۵	۰/۷۵	۰/۴۹۴	۱۰۰
۹/۹۲۹۸	۹/۲۸۳۱	۶/۰۱۲۱	۱/۰۹۰۱	۱/۰۱۴۷	۰/۶۵۳۸	۱۰۵
۲۲/۹۴۵۹	۲۱/۱۸۴۲	۱۳/۲۶۸۱	۲/۲۷۹۱	۲/۱۲۹۱	۱/۳۱۲۹	۱۱۰
۵۰/۰۲۸۵	۴۵/۳۷۲۱	۲۸/۱۶۳۹	۴/۷۷۵۵	۴/۳۰۱۱	۲/۷۷۳۲	۱۱۵
۱۰۶/۶۳۶۷	۹۵/۵۶۳۹	۵۶/۷۶۸۹	۹/۹۵۰۵	۸/۸۶۴۲	۵/۱۷۵۴	۱۲۰
۲۲۲/۱۶۴۷	۱۹۳/۱۵۴	۱۰۶/۴۵۹	۱۹/۷۹۶۹	۱۷/۲۰۱	۹/۴۳۹۸	۱۲۵
۴۴۷/۵۸۴۳	۳۸۱/۵۴۳۴	۲۰۱/۵۴۳۸	۳۸/۰۱۰۶	۳۲/۲۹۱	۱۷/۴۳۵	۱۳۰

۴. نتیجه گیری

در مقاله حاضر ایده دسته بندی الگوهای سرعت باد با شبکه عصبی خودسازمان ده با هدف مدل سازی مناسب مطرح شده و با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو کفایت تولید یک شبکه نظامی نمونه در حضور نیروگاه بادی ارزیابی شده است. تشکیل الگوهای سرعت باد بر پایه استفاده از اطلاعات سالیان گذشته و جداسازی اطلاعات بر اساس فصول و ساعات شبانه روز است. برای ارزیابی روش پیشنهادی از مدل سری زمانی و ویبال ساعتی نیز استفاده شده است. در روش ویبال ساعتی برای هر ساعت از سال تابع توزیع ویبال به صورت جداگانه محاسبه می شود که منجر به حاصل شدن نتایج دقیق با حجم و زمان محاسبات طولانی بوده و به عنوان معیاری برای سنجش دو روش دیگر به کار می رود. مدل سری زمانی حجم و زمان محاسبات کمی داشته ولی نتایج به دست آمده تفاوت زیادی با روش ویبال ساعتی دارد. روش پیشنهادی دارای نتایج مشابه ویبال ساعتی با حجم و زمان محاسبات کمتری نسبت به آن است.

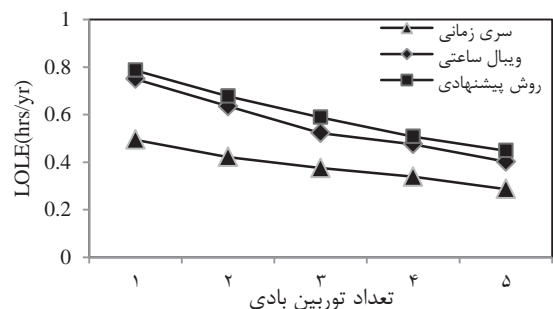
ساعتی و روش پیشنهادی به ازای تعداد ۳۰ دسته مدل سازی شده است. قابل ذکر است ارزیابی کفایت تولید در سطح HLI و با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو انجام شده است. جدول (۱) شاخص های LOLE و LOEE را به ازای روش های مختلف مدل سازی سرعت باد نشان می دهد.

جدول ۱. شاخص های کفایت به ازای انواع روش های مدل سازی سرعت باد

روش مدل سازی	LOLE (hrs/yr)	LOEE (MWh/yr)
ویبال ساعتی	۰/۷۵	۶/۶۷۷۶
سری زمانی	۰/۴۹۴	۴/۳۵۱۷
روش پیشنهادی به ازای ۳۰ دسته	۰/۷۸۶۵	۷/۰۰۸۷

با توجه به اینکه در روش ویبال ساعتی برای هر ساعت از سال تابع توزیع ویبال به صورت جداگانه با استفاده از اطلاعات سالیان گذشته محاسبه می شود. نتایج به دست آمده از این روش دارای دقت زیادی بوده و رفتار تصادفی سرعت باد را به طور کامل مدل می کند. بنابراین نتایج این روش به عنوان معیاری برای سنجش روش سری زمانی و روش پیشنهادی به کار می رود. در روش سری زمانی حجم محاسبات کم بوده و شاخص های LOLE و LOEE به ترتیب ۰/۴۹۴ و ۴/۳۵۱۷ به دست می آیند که تفاوت قابل توجهی با نتایج به دست آمده با روش ویبال ساعتی دارد. شاخص LOLE و LOEE برای روش پیشنهادی به ترتیب ۰/۷۸۶۵ و ۷/۰۰۸۷ به دست می آیند که تفاوت ناچیزی با نتایج حاصل از روش ویبال ساعتی دارد و بیانگر حاصل شدن نتایج دقیق با حجم و زمان محاسبات کمتری نسبت به روش ویبال ساعتی است.

اکنون تعداد توربین های به کار رفته در شبکه RBTS از ۱ تا ۵ افزایش می یابد و سرعت باد در هر یک از توربین به صورت جداگانه با روش های سری زمانی، ویبال ساعتی و دسته بندی با شبکه عصبی خود سازمان ده به ازای ۳۰ دسته مدل می شود. در این حالت هیچ گونه همبستگی بین سرعت های باد در توربین های مختلف وجود ندارد. در شکل (۴) شاخص LOLE به ازای تغییرات تعداد توربین بادی به کار رفته نمایش داده شده است.



شکل ۴. شاخص LOLE به ازای تعداد توربین بادی

در ادامه پیک بار سامانه از ۷۰٪ تا ۱۳۰٪ تغییر می کند. در جدول (۲) شاخص های LOLE و LOEE به ازای پیک بارهای

۵. مراجع

- [11] Xiaoqing, H.; Ying, Qu.; Peng, W.; Junhu, Y. "Four-Dimensional Wind Speed Model for Adequacy Assessment of Power Systems with Wind Farms"; IEEE Trans. on Power Syst. 2013, 28, 3.
- [12] Ghaedi, A.; Abbaspour, A.; Fotuhi-Firuzabad, M. "Toward a Comprehensive Model of Large-Scale DFIG-Based Wind Farms in Adequacy Assessment of Power Systems"; IEEE Trans. on Sustainable Energy 2014, 5, 1.
- [13] Billinton, R.; Huang, D. "Incorporating Wind Power in Generating Capacity Reliability Evaluation Using Different Models"; IEEE Trans. on Power Syst. 2011, 26, 4.
- [14] Han, X.; Mu, M.; Qin, W. "Reliability Assessment of Power System Containing Wind Farm Based on Steady-State Power Flow, In Proc. IEEE Probabilistic Methods Appl. Power Syst. 2010, 756-760.
- [15] "IEEE Reliability Test System - A Report Prepared by the Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods Subcommittee"; IEEE Trans. on Power Apparatus and Syst. 1979, 98, 2047-2054.
- [16] Giorsetto, P.; Utsurogi, K. F. "Development of a New Procedure for Reliability Modeling of Wind Turbine Generators"; IEEE Trans. on Power Apparatus and Syst. 1983, 102, 134-143.
- [17] Rousseeuw, P. J. "Silhouettes: A Graphical Aid to the Interpretation and Validation of Cluster Analysis"; J. Comput. Appl. Math. 1987, 20.
- [18] <http://www.usbr.gov/pn/agrimet/webagdayread.html>
- [1] Willis, H. L. Scott, W. G. "Distributed Power Generation: Planning and Evaluation"; Marcel Dekker, NewYork, 2000.
- [2] Jacobsson, S.; Bergek, A. "Renewable Energy Support Policy: Faith or Facts?"; Energy Policy 2009, 37, 2143-2150.
- [3] Singh, C.; Kim, Y. "An Efficient Technique for Reliability Analysis of Power Systems Including Time Dependent Sources"; IEEE Trans. on Power Syst. 1988, 3, 1090-1096.
- [4] Billinton, R.; Hua, C.; Ghajar, R. "A Sequential Simulation Technique for Adequacy Evaluation of Generating Systems Including Wind Energy"; IEEE Trans. on Energy Conversion 1996, 11, 728-734.
- [5] Karaki, S. H.; Chedid, R. B.; Ramadan, R. "Probabilistic Performance Assessment of Wind Energy Conversion Systems"; IEEE Trans. on Energy Conversion 1999, 14, 217-224.
- [6] Atwa, Y.; El-Saadany, E. F. "Adequacy Evaluation of Distribution System Including Wind/Solar DG During Different Modes of Operation"; IEEE Trans. on Power Syst. 2011, 26, 1945 - 1952.
- [7] Heydt, G. T.; Graf, T. J. "Distribution System Reliability Evaluation Using Enhanced Samples in a Monte Carlo Approach"; IEEE Trans. on Power Syst. 2010, 25, 2006 - 2008.
- [8] Karki, R.; Billinton, R. "Reliability Evaluation Considering Wind and Hydro Power Coordination"; IEEE Trans. on Power Syst. 2010, 25, 685 - 693.
- [9] Willis, H. L.; Scott, W. G. "Distributed Power Generation: Planning and Evaluation"; Marcel Dekker, NewYork, 2000.
- [10] Omran, W. A.; Kazerani, M. "A Clustering-Based Method for Quantifying the Effects of Large on-Grid PV Systems"; IEEE Trans. on Power Delivery 2010, 25, 2617 - 2625.