

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (GAN)

مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛
شبکه های توجه گرافی
(Graph Attention Networks)



آموزش استفاده از وب آو ساینس

کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مکالمه روزمره انگلیسی

مدل سازی نیروگاه بادی با روش فازی - مارکوف در مطالعات قابلیت اطمینان

احمد قادری شمیم و محمودرضا حقی فام

سرعت باد منطقه و سری‌های زمانی ARMA اشاره کرد. در این مقاله، هدف اصلی ارائه یک روش نوین برای مدل‌سازی نیروگاه بادی در مطالعات قابلیت اطمینان است. بنابراین ابتدا به بررسی روش‌های مختلف ارائه شده جهت مدل‌سازی نیروگاه بادی پرداخته شده است. سپس از روش ترکیبی شبیه‌سازی مونت کارلو و مدل مارکوف جهت مدل‌سازی نیروگاه بادی در ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان استفاده شده است. یکی دیگر از اهداف این مقاله ارائه روش مدل‌سازی نیروگاه بادی در مزرعه‌های بادی است که اطلاعات کافی جهت مدل‌سازی دقیق تولید این واحدها موجود نیست. در این حالت با استفاده از روش فازی-مارکوف به مدل‌سازی تولید این واحدها پرداخته شده است.

۲- ظرفیت قابل اعتبار

مقدار ظرفیت قابل اعتبار واحدهای بادی که در مقایسه با واحدهای معمولی به دست می‌آید، ظرفیت قابل اعتبار نامیده می‌شود. معیار سنجش در این معادل‌سازی، شاخص‌های قابلیت اطمینان از جمله LOLE و LOEE می‌باشد. الگوریتم محاسبه ظرفیت معادل مبتنی بر قابلیت اطمینان به صورت زیر است [۱] تا [۴]:

- ۱) محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان در حضور نیروگاه‌های بادی.
 - ۲) حذف نیروگاه بادی از شبکه و اضافه کردن واحدهای معمولی به جای آنها و افزایش مقدار ظرفیت واحد معمولی به صورت پله‌ای و محاسبه شاخص قابلیت اطمینان.
 - ۳) تکرار گام دوم (افزایش ظرفیت واحد معمولی) تا جایی که شاخص قابلیت اطمینان برابر شاخص به دست آمده از گام اول شود.
 - ۴) مقدار ظرفیت اضافه شده که شرط مربوط به گام سوم را برآورده می‌سازد، ظرفیت قابل اعتبار واحد بادی به حساب می‌آید.
- ظرفیت قابل اعتبار یک واحد بادی اضافه بر رژیم باد مربوط به مزرعه بادی به پارامترهای زیر وابسته است [۵] و [۶]:
- ضریب نفوذ واحدهای بادی: این ضریب در واقع نسبت میزان نصب واحدهای بادی به کل ظرفیت شبکه است.
 - نقطه اتصال به شبکه: در واقع نزدیکی به بار و قابلیت اطمینان شبکه در محل اتصال واحد بادی، بر روی ظرفیت قابل اعتبار تأثیر می‌گذارد.

در [۲] و [۷] از روش تقریبی ضریب ظرفیت در محاسبه ظرفیت قابل اعتبار استفاده شده است. در این روش تقریبی نیازی به محاسبه قابلیت اطمینان نیست و با استفاده از ضریب ظرفیت یک واحد بادی می‌توان تقریبی از ظرفیت قابل اعتبار را به دست آورد.

ضریب ظرفیت برابر است با نسبت میانگین توان خروجی به مقدار نامی ظرفیت نصب شده، که بازه محاسبه میانگین در مراجع مختلف فرق می‌کند. از معایب این روش تقریبی در مقایسه با روش ظرفیت قابل اعتبار مبتنی بر قابلیت اطمینان این است که در شبکه‌های دارای ضریب نفوذ

چکیده: در این مقاله به مدل‌سازی تولید نیروگاه بادی در شبکه‌های قدرت پرداخته شده است. با توجه به متغیر بودن سرعت باد، تولید نیروگاه‌های بادی با عدم قطعیت همراه خواهد بود. بنابراین مطالعات قابلیت اطمینان شبکه در حضور نیروگاه بادی نیازمند یک مدل‌سازی مناسب برای نیروگاه‌های بادی می‌باشد. در این مقاله ابتدا مروری بر روش‌های مدل‌سازی قبلی شده است و سپس از روش ترکیبی زنجیره‌های مارکوف و شبیه‌سازی مونت کارلو برای مدل‌سازی نیروگاه بادی در مطالعات قابلیت اطمینان استفاده شده است. در این روش سرعت باد و در نتیجه توان خروجی توربین بادی به صورت یک فرآیند مارکوف مدل شده است به این صورت که سرعت باد در چند حالت دسته‌بندی شده و با توجه به اطلاعات قبلی سرعت باد در هر ساعت، نرخ ورود و خروج به هر کدام از این حالت‌ها محاسبه شده است. در ادامه از روش فازی-مارکوف نیز برای مدل‌سازی نیروگاه‌های بادی استفاده شده است. با توجه به این که نرخ ورود و خروج حالت‌های مارکوف در مزرعه بادی که اطلاعات کافی در دست نباشد نمی‌تواند یک مقدار معین برای آنها در نظر گرفت. بنابراین به ازای هر کدام از این نرخ ورود و خروج حالت‌ها یک تابع عضویت فازی مثلثی اختصاص داده شده است. در پایان ظرفیت قابل اعتبار واحدهای بادی در مقایسه با واحدهای معمولی با معیار قراردادن شاخص‌های قابلیت اطمینان تعیین می‌شود.

کلید واژه: زنجیره‌های مارکوف، شبیه‌سازی مونت کارلو، ظرفیت قابل اعتبار، فازی-مارکوف، واحدهای بادی.

۱- مقدمه

در برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت یکی از مسائلی که پیش روی برنامه‌ریز قرار می‌گیرد؛ تعیین ظرفیت قابل اعتبار واحدهایی است که دارای تولید متغیر هستند. برای تعیین ظرفیت قابل اعتبار واحد عموماً از تأثیر آن واحد بر روی قابلیت اطمینان شبکه استفاده می‌شود. توربین‌های بادی یکی از اصلی‌ترین و پرکاربردترین واحدهای تولید انرژی الکتریکی در دنیا به شمار می‌آیند. به علت متغیر بودن سرعت باد، تولید این واحدها با عدم قطعیت همراه است. به همین منظور در برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت تعیین ظرفیت قابل اعتبار نیروگاه‌های بادی از اهمیت بالایی برخوردار است. برای تعیین ظرفیت قابل اعتبار نیروگاه بادی باید تولید نیروگاه بادی را در مطالعات قابلیت اطمینان مدل‌سازی نمود.

روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی تولید نیروگاه بادی به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت استفاده شده است که از جمله می‌توان به مدل‌سازی چندحالتی تولید با در نظر گرفتن توزیع احتمال مربوط به

این مقاله در تاریخ ۳۱ تیر ماه ۱۳۸۹ دریافت و در تاریخ ۲۳ دی ماه ۱۳۹۰ بازنگری شد.

احمد قادری شمیم، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، (email: a.ghaderi@modares.ac.ir).

محمودرضا حقی فام، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، (email: haghifam@modares.ac.ir).

۳-۲-۲ روش سری زمانی

سری زمانی خودهمبسته میانگین متحرک (ARMA) در شناسایی سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای مدل‌سازی تولید واحدهای بادی سرعت باد منطقه با استفاده از سری زمانی ARMA پیش‌بینی می‌شود. پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی سرعت باد با سری زمانی ARMA از قرار زیر است [۸]

$$SW_t = \mu_t + \sigma_t y_t \quad (2)$$

که در آن SW_t سرعت باد در ساعت t ، μ_t متوسط سرعت باد در ساعت t و σ_t انحراف معیار سرعت باد در ساعت t است.

سری y_t برای تشکیل مدل زمانی $ARMA(n, m)$ از رابطه زیر استفاده می‌شود

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_n y_{t-n} + \alpha_t - \theta_1 \alpha_{t-1} - \theta_2 \alpha_{t-2} - \dots - \theta_m \alpha_{t-m} \quad (3)$$

که ϕ_i ($i=1, 2, \dots, n$) ضرایب خودهمبستگی، θ_j ($j=1, 2, \dots, m$) ضرایب میانگین متحرک، $\{\alpha_i\}$ نویز سفید با میانگین صفر و واریانس σ_a^2 و α_i عضو $NID(0, \sigma_a^2)$ است.

روش‌های تخمین این پارامترها در نرم‌افزار MATLAB تحت عنوان Identification Tool موجود می‌باشد. مزیت این روش مدل‌سازی سرعت باد ایجاد همبستگی با سرعت باد در ساعت‌های قبلی است. در واقع با شناسایی پارامترهای سری زمانی می‌توان تغییرات رفتار کلی سرعت باد را در طول روز، ماه، فصل و سال مدل‌سازی کرد. با توجه به این که در روش شبیه‌سازی مونت کارلوی ترتیبی، ترتیب زمانی دارای اهمیت است، ترتیب زمانی تغییرات سرعت باد و در نتیجه توان خروجی توربین بادی نیز از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. همین طور از مزیت‌های دیگر این روش می‌توان به بحث تعیین همبستگی سرعت باد در مزرعه‌های بادی مختلف اشاره کرد.

۳-۲-۳ روش مونت کارلو- مارکوف^۲ (MCMC)

ماتریس احتمال گذر حالت (STM) یک زنجیره مارکوف m حالت در (۴) نشان داده شده است. درایه‌های این ماتریس p_{ij} احتمال گذر از حالت i به حالت j را نشان می‌دهد

$$P = \begin{matrix} \text{from} \downarrow & \text{to} \rightarrow \\ \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

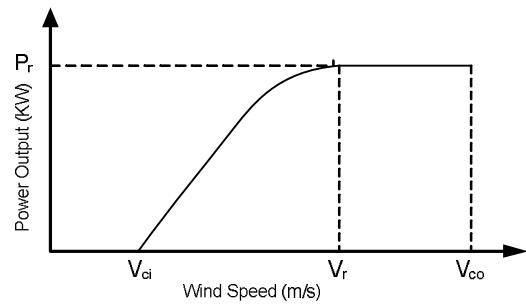
نحوه مدل‌سازی گذر از یک حالت به حالت دیگر با استفاده از روش مونت کارلو (MCMC) به صورت زیر است [۱۲]:

(۱) ابتدا از روی ماتریس احتمال گذر حالت ماتریس احتمال تجمعی با توجه به (۵) تشکیل داده می‌شود

$$F_{ij} = \sum_{k=1}^j p_{ik}, \quad (i=0, 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

(۲) فرض می‌شود سیستم در حالت K_i استقرار دارد.

(۳) تولید عدد تصادفی با توزیع یکنواخت بین صفر تا یک.



شکل ۱: منحنی توان-سرعت یک توربین بادی.

بالا تقریب مناسبی از ظرفیت قابل اعتبار واحد بادی نمی‌دهد و از مزیت‌های این روش راحتی و حجم کم محاسبات است. مزیت روش مبتنی بر قابلیت اطمینان این است که بر خلاف روش تقریبی تأثیر همه پارامترهای تأثیرگذار را لحاظ می‌کند.

۳- مدل‌سازی نیروگاه بادی در مطالعات قابلیت اطمینان

برای مدل‌سازی تولید نیروگاه بادی در مطالعات قابلیت اطمینان ابتدا سرعت باد مدل‌سازی می‌شود و سپس با استفاده از منحنی سرعت-توان توربین بادی میزان تولید تعیین می‌شود.

۳-۱ مدل‌سازی توربین بادی

توان خروجی توربین بادی با توجه به میزان سرعت باد در مزرعه بادی و منحنی توان-سرعت قابل محاسبه است. این منحنی در شکل ۱ آمده است [۸]. رابطه بین توان خروجی و سرعت باد یک رابطه غیر خطی می‌باشد که در (۱) ارائه شده است

$$P(SW) = \begin{cases} 0, & SW \leq V_{ci} \\ P_r (A + B \times SW + C \times SW^2), & V_{ci} \leq SW < V_r \\ P_r, & V_r \leq SW < V_{co} \\ 0, & SW > V_{co} \end{cases} \quad (1)$$

که در آن V_{ci} سرعت شروع به چرخش توربین است که اگر سرعت باد از این مقدار کمتر باشد توان خروجی صفر خواهد بود. V_r سرعت نامی توربین است که توان خروجی در این سرعت، توان نامی نامیده می‌شود و V_{co} نیز سرعت قطع است. در این سرعت به دلایل حفاظتی توربین از مدار خارج می‌شود. در این رابطه مقادیر A ، B و C مقادیر ثابتی هستند؛ این پارامترها با توجه به V_{ci} ، V_r و V_{co} قابل محاسبه می‌باشند [۹].

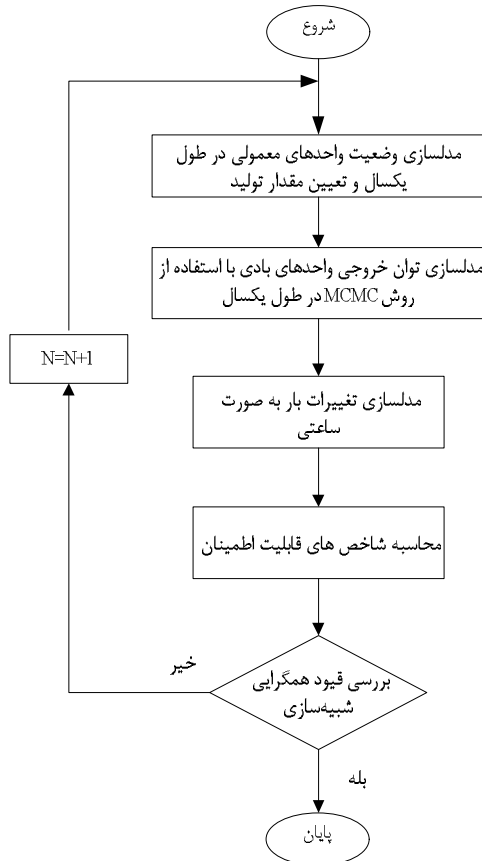
۳-۲ مدل‌سازی سرعت باد

برای مدل‌سازی سرعت باد دو روش عمده وجود دارد، روش توزیع احتمال و روش سری زمانی. کاربرد هر کدام از این مدل‌ها به روش محاسبه قابلیت اطمینان شبکه وابسته است. به طور مثال روش توزیع احتمال در روش تحلیلی قابلیت اطمینان استفاده می‌شود و روش‌های سری زمانی در روش شبیه‌سازی محاسبه قابلیت اطمینان استفاده می‌شود.

۳-۱-۲ روش توزیع احتمال

سرعت باد را در مزرعه بادی به چند دسته کلاسه‌بندی می‌شود و با استفاده از اطلاعات سرعت باد قبلی، احتمال هر دسته از سرعت باد مشخص می‌شود. سرعت باد معمولاً در اکثر مزرعه بادی از توزیع احتمال ویبال پیروی می‌کند [۱۰] و [۱۱]. البته در بعضی از مراجع از توزیع احتمال نرمال نیز برای مدل‌سازی سرعت باد استفاده می‌شود.

1. Normally Independently Distributed
2. Monte Carlo Markov Chain



شکل ۳: روندنمای ارزیابی قابلیت اطمینان.

است که در هر فصل تا حدودی با هم متفاوت می‌باشد. برای محاسبه این ماتریس‌ها در هر فصل از اطلاعات سرعت باد مربوط به آن فصل استفاده شده است.

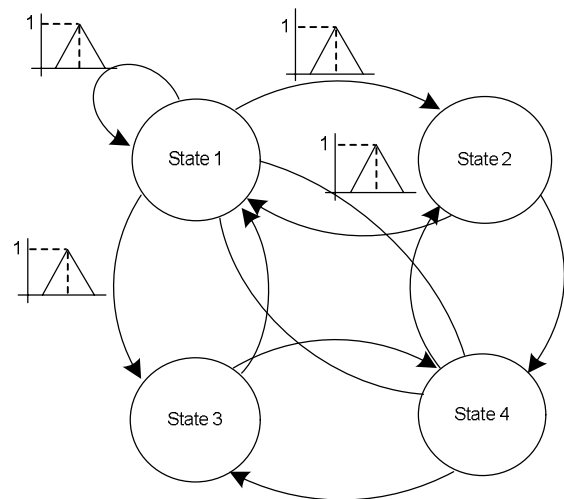
۴-۲ مدل‌سازی سرعت باد با روش فازی-مارکوف

در مدل‌سازی مارکوف سرعت باد، در صورتی که اطلاعات قبلی سرعت باد منطقه خیلی کم باشد، نمی‌توان به طور دقیق احتمال گذر از حالت را تعیین نمود، بنابراین نمی‌توان به صورت یک عدد قطعی مقدار این احتمال گذر را به دست آورد. در چنین شرایطی نمی‌توان از روش MCMC برای مدل‌سازی سرعت باد استفاده نمود. در این مقاله برای چنین شرایطی از روش فازی-مارکوف برای مدل‌سازی سرعت باد استفاده شده است. شکل ۲ یک مدل چهارحالتی از سرعت باد یک مزرعه بادی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل نشان داده شده، نرخ ورود و خروج به هر حالت از زنجیره مارکوف یک عدد فازی است. این عدد فازی از روی اطلاعات کمی که از سرعت باد مزرعه بادی موجود است، محاسبه می‌شود. نرخ ورود و خروج هر حالت با یک تابع عضویت فازی مثلثی که بیانگر میزان نزدیکی به احتمال گذر زنجیره مارکوف می‌باشد، مدل شده است. بنابراین ماتریس احتمال گذر حالت‌ها یک ماتریس با درایه‌های فازی است و احتمال حدی حالت‌ها از \bar{P}_1 تا \bar{P}_4 به صورت اعداد فازی خواهند بود.

۴-۳ محاسبه قابلیت اطمینان شبکه در حضور

نیروگاه بادی

الگوریتم محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه با مدل‌سازی نیروگاه بادی با استفاده از روش MCMC در روندنمای شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۲: مدل فازی-مارکوف سرعت باد.

(۴) مقایسه عدد تصادفی با سطر i ام ماتریس F و تعیین وضعیت بعدی سیستم. به‌طور مثال اگر عدد تصادفی بین F_{ij} و $F_{i,j-1}$ باشد، در این صورت وضعیت بعدی سیستم S_j خواهد شد.

(۵) برای تعیین وضعیت، سیستم در مرحله زمانی بعدی مجدداً به گام سوم برگشت داده می‌شود و این فرآیند ادامه پیدا می‌کند تا وضعیت سیستم در یک بازه زمانی مورد نظر تعیین شود. بنابراین وضعیت سیستم در یک تکرار شبیه‌سازی مونت کارلو مشخص می‌شود.

(۶) یک واحد به شمارنده تعداد تکرارهای مونت کارلو اضافه و به مرحله دوم برگشت داده می‌شود. این فرآیند ادامه می‌یابد تا این که معیار توقف شبیه‌سازی برآورده شود.

۴- مدل پیشنهادی

۴-۱ مدل‌سازی سرعت باد با استفاده از روش MCMC

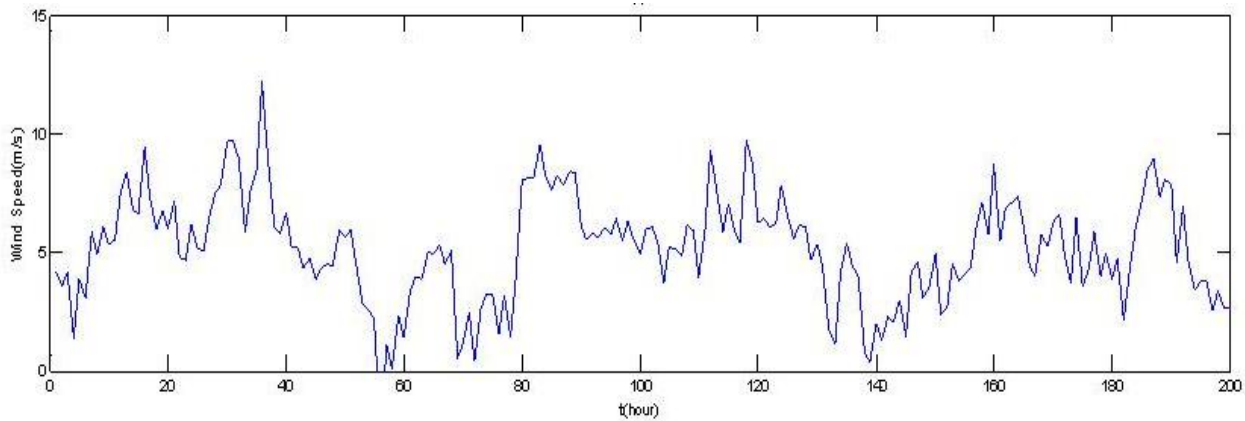
برای مدل‌سازی سرعت باد با استفاده از مدل مارکوف ابتدا سرعت باد به چندین پله کلاستر بندی شده و با استفاده از اطلاعات سرعت باد مزرعه بادی ماتریس احتمال گذر حالت‌ها با استفاده از (۶) محاسبه می‌شود

$$P_{ij} = \frac{N_{ij}}{\sum_{j=1}^m N_{ij}} \quad (6)$$

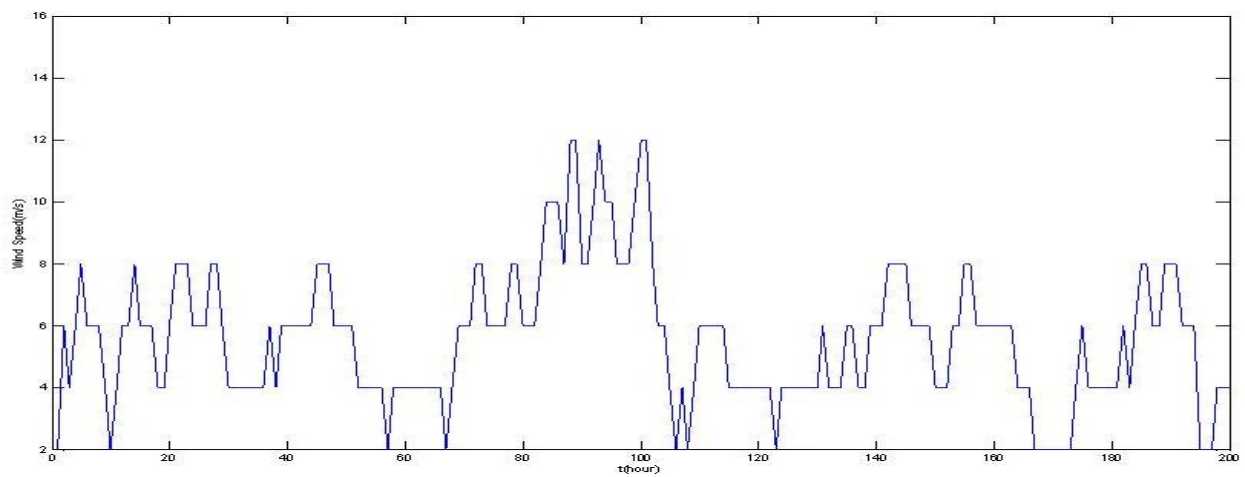
که در آن N_{ij} تعداد خروج‌هایی که از حالت i به حالت j صورت گرفته، $\sum_{j=1}^m N_{ij}$ تعداد خروج‌هایی که از حالت i به تمام حالت‌ها صورت گرفته و P_{ij} احتمال خروج از حالت i به حالت j است.

با تشکیل ماتریس احتمال گذر حالت‌ها و با استفاده از الگوریتم MCMC سرعت باد به صورت ساعت به ساعت با ترتیب زمانی تعیین می‌شود. در نتیجه با مدل‌سازی ترتیب زمانی سرعت باد و منحنی توان-سرعت توربین بادی میزان توان خروجی به صورت ساعت به ساعت برای نیروگاه بادی محاسبه می‌شود.

از آنجا که سرعت باد در یک مزرعه بادی در فصل‌های مختلف با تغییر شرایط آب و هوایی متغیر است، برای مدل‌سازی سرعت باد به‌زای هر فصل یک مدل مارکوف مدل‌سازی می‌شود. بنابراین چهار مدل مارکوف برای مدل‌سازی سرعت باد در طول یک سال تخمین زده می‌شود. البته لازم به ذکر است که این مدل‌های مارکوف از نظر تعداد حالت‌ها و کلاستر بندی حالت‌ها تفاوتی با هم ندارند. تنها تفاوت این مدل‌های مارکوف که برای هر فصل استخراج شده، ماتریس گذر حالت



شکل ۴: پیش‌بینی سرعت باد با روش سری زمانی ARMA.



شکل ۵: پیش‌بینی سرعت باد با روش MCMC.

با استفاده از این پارامترها سرعت باد در طول یک بازه ۲۰۰ ساعتی پیش‌بینی شده است. شکل ۴ این مدل‌سازی سرعت باد را نشان می‌دهد.

۲-۵ مدل‌سازی سرعت باد با استفاده از MCMC

برای مدل‌سازی سرعت باد با استفاده از روش MCMC ابتدا سرعت باد را به صورت یک زنجیره مارکوف ۸ حالتی مدل‌سازی شده است و با توجه به اطلاعات قبلی سرعت باد منطقه، ماتریس احتمال گذر حالت‌ها با استفاده از (۶) محاسبه شده است. از آنجایی که رفتار سرعت باد در فصل‌های مختلف تا حدودی متفاوت است، برای هر فصل ماتریس احتمال گذر حالت مجزا محاسبه شده است. بنابراین چهار مدل مارکوف مختلف برای چهار فصل مختلف، برای مدل‌سازی رفتار سرعت باد استفاده شده است. یک نمونه مدل‌سازی سرعت باد با استفاده از MCMC در یک بازه ۲۰۰ ساعته در شکل ۵ آمده است. همان‌طور که اشاره شد، انتظار می‌رود توزیع احتمال سرعت باد به دست آمده، از یک تابع توزیع ویبال پیروی نماید. بنابراین پارامترهای k و c که به ترتیب پارامتر مقیاس و پارامتر قالب می‌باشند، برای سرعت باد به دست آمده تخمین زده شده و در جدول ۱ آورده شده است. تابع توزیع احتمال به دست آمده توسط روش سری زمانی ARMA و روش MCMC در شکل ۶ با توزیع احتمال سرعت واقعی باد مقایسه شده است. همان‌طور که از این شکل مشخص است تابع توزیع احتمال با روش MCMC نسبت به روش سری زمانی ARMA از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد. پارامترهای توزیع ویبال که برای سرعت باد پیش‌بینی شده و سرعت واقعی باد تخمین زده شده در جدول ۱ نشان داده شده است. برای

۵- مطالعات عددی و نتایج

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی‌های سرعت باد با استفاده از روش سری زمانی ARMA و روش MCMC در مدل‌سازی نیروگاه بادی در مطالعات قابلیت اطمینان ارائه شده است. سپس تأثیر این مدل‌سازی‌ها بر روی شاخص‌های قابلیت اطمینان آورده شده و همین‌طور ظرفیت قابل اعتبار نیروگاه بادی به ازای ضریب نفوذهای مختلف محاسبه شده است.

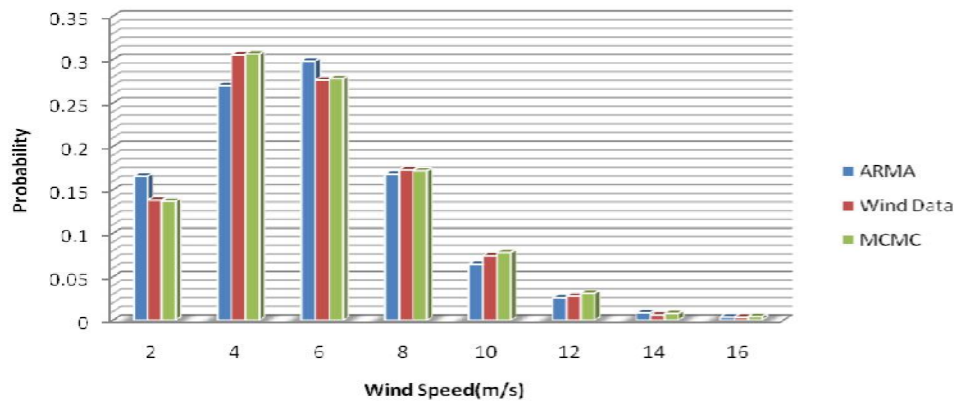
شبکه تست استفاده شده در شبیه‌سازی شبکه RBTS می‌باشد و برای شبیه‌سازی از اطلاعات سوئیچت کارنت برای بررسی این روش‌ها و برای شبیه‌سازی‌ها از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است.

۱-۵ مدل‌سازی سری زمانی ARMA

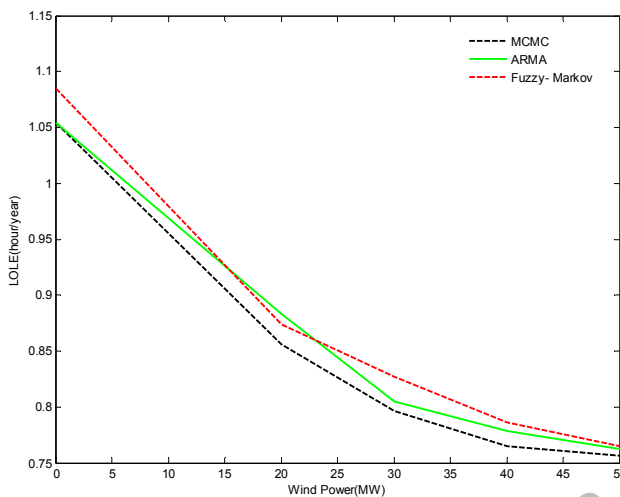
برای این که بتوان نتایج مدل‌سازی این مقاله با روش سری زمانی ARMA مشخص مقایسه نمود و اعتبار روش ارائه شده را مورد بررسی قرار داد، از پارامترهای سری زمانی ARMA که در [۸] برای ایالت سوئیچت کارنت ارائه شده، استفاده شده است. لازم به ذکر است به خاطر اعتبارسنجی روش ارائه شده سعی شد برای شبیه‌سازی از اطلاعات سرعت باد همان منطقه سوئیچت کارنت استفاده شود. این اطلاعات از سایت هواشناسی کانادا دریافت شد [۱۳]. پارامترهای سری زمانی ARMA برای سوئیچت کارنت مطابق رابطه زیر است

$$y_t = 0.8782y_{t-1} - 0.066y_{t-2} + 0.265y_{t-3} + \alpha_t - 0.2162\alpha_{t-1} + 0.091\alpha_{t-2} \quad (7)$$

$$\alpha_t \in NID(0, 0.55793^2)$$



شکل ۶: توزیع احتمال سرعت باد سوئیچت کارنت با دو روش ARMA و MCMC در مقایسه با اطلاعات قبلی.



شکل ۸: محاسبه شاخص LOLE با سه روش مدل سازی به ازای ظرفیت های مختلف.

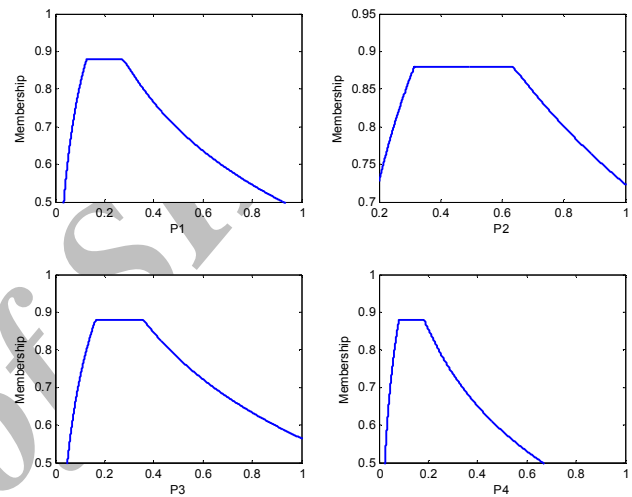
خروجی نیروگاه بادی در نظر گرفته شده است و با استفاده از اطلاعات یک بازه زمانی کوتاه (۶ ماه) سرعت باد همین منطقه، ماتریس احتمال گذر محاسبه شده است. نرخ ورود و خروج هر حالت با یک تابع عضویت فازی مثلثی که بیانگر میزان نزدیکی به احتمال گذر زنجیره مارکوف می باشد، مدل شده است. با استفاده از این مدل احتمال حدی هر کدام از این چهار حالت به صورت فازی محاسبه شد (شکل ۷).

۴-۵ محاسبه قابلیت اطمینان و تعیین ظرفیت قابل اعتبار

با سه روش سری زمانی ARMA، MCMC و روش فازی- مارکوف تولید نیروگاه بادی مدل شده است. با استفاده از روندنمای محاسبه قابلیت اطمینان شبکه که در شکل ۳ نشان داده شده، شاخص های قابلیت اطمینان محاسبه شده است. شکل ۸ تغییرات شاخص LOLE شبکه تست RBTS [۱۴] را در حضور نیروگاه بادی با ظرفیت های مختلف (از صفر تا ۵۰ مگاوات) نشان داده شده است. همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده، با فرض وجود اطلاعات ناکافی از سرعت باد مزرعه بادی سوئیچت کارنت، روش فازی- مارکوف دقت تقریباً مناسبی در مقایسه با روش های قبلی ارائه داده است. بنابراین در مزرعه های بادی که اطلاعات سرعت باد در بازه زمانی کوتاهی موجود می باشد می توان از این روش استفاده نمود.

۵-۵ محاسبه ظرفیت قابل اعتبار نیروگاه بادی

مطابق الگوریتمی که در بخش ۲ توضیح داده شد، ظرفیت قابل اعتبار



شکل ۷: احتمال حالت های حدی محاسبه شده به صورت تابع فازی.

جدول ۱: مقایسه پارامترهای توزیع ویبال برای سرعت باد پیش بینی شده و سرعت باد واقعی.

روش مدل سازی سرعت باد	پارامتر مقیاس c	پارامتر قالب k
سری زمانی ARMA	۶,۳۴۸۹	۲,۲۵۹۱
اطلاعات واقعی	۶,۴۶۳۵	۲,۳۶۳۹
MCMC	۶,۴۵۹۹	۲,۳۰۸۳

مطالعات قابلیت اطمینان که ذاتاً مباحث احتمالاتی می باشد، این مزیت روش MCMC از اهمیت بیشتری برخوردار است، چون خطای مدل سازی احتمالاتی تولید بر روی شاخص های قابلیت اطمینان تأثیر زیادی می گذارد و نتایج حاصل شده دارای خطا خواهند بود. اما مزیت روش سری زمانی مطابقت تابع خودهمبستگی سرعت باد پیش بینی شده با تابع خودهمبستگی سرعت واقعی باد است که در پیش بینی های کوتاه مدت (روز و ماه) مناسب تر می باشد.

۳-۵ مدل سازی با استفاده از روش فازی- مارکوف

در روش مدل سازی سری زمانی ARMA و حتی روش MCMC نیاز به داده های سرعت باد در بازه زمانی طولانی می باشد. در حالتی که اطلاعات زیادی از سرعت باد منطقه موجود نباشد، نمی توان مدل مناسبی به دست آورد. در این حالت روشی که در این مقاله پیشنهاد شده، استفاده از مدل فازی- مارکوف است. برای مدل سازی فازی- مارکوف یک مزرعه بادی در ایالت سوئیچت کارنت شبیه سازی شده است. در این مدل سازی یک مارکوف ۴ حالتی مطابق شکل ۲ برای سرعت باد و در نتیجه توان

- [3] L. Wang and C. Singh, "A new method for capacity credit estimation of wind power," in *Proc. 15th National Power Systems Conf. (NPSC), IIT Bombay*, pp. 570-573, Dec. 2008.
- [4] R. Karki and P. Hu, "Impact of wind power growth on capacity credit," in *Proc. Electrical and Computer Engineering, Canadian Conf.*, pp. 1586-1589, 22-26 Apr. 2007.
- [5] G. R. Pudaruth and F. Li, "Locational capacity credit evaluation," *IEEE Trans. on Power Systems.*, vol. 24, no. 2, pp. 1072-1079, May 2009.
- [6] R. Karki, "Renewable energy credit driven wind power growth for system reliability," *Electric Power Systems Research*, vol. 77, no. 7, pp. 797-803, May 2007.
- [7] W. Wijarn and R. Billinton, "Considering load - carrying capability and wind speed correlation of WECS in generation adequacy assessment," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 21, no. 3, pp. 734-741, Sep. 2006.
- [8] R. Karki, P. Hu, and R. Billinton, "A simplified wind power generation model for reliability evaluation," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 21, no. 2, pp. 533-540, Jun. 2006.
- [9] P. Giorsetto and K. F. Utsurogi, "Development of a new procedure for reliability modeling of wind turbine generators," *IEEE Trans. PAS*, vol. 102, no. 1, pp. 134-143, Jan. 1983.
- [10] A. P. Leite, C. L. T. Borges, and D. M. Falcao, "Probabilistic wind farms generation model for reliability studies applied to brazilian sites," *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 21, no. 4, pp. 1493-1501, Nov. 2006.
- [11] Z. Yu and A. Tuzuner, "Wind speed modeling and energy production simulation with Weibull sampling," in *Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 6 pp., 2008.
- [12] G. Papaefthymiou and B. Klockl, "MCMC for wind power simulation," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 23, no. 1, pp. 234-240, Mar. 2008.
- [13] http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/hourlydata_e.html
- [14] R. Billinton, S. Kumar, N. Chowdhury, K. Debnath, L. Goel, E. Khan, P. Kos, G. Nourbakhsh, and J. Oteng - Adjei, "A reliability test system for educational purposes - basic data," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 4, no. 4, pp. 1238-1244, Aug. 1989.

احمد قادری شمیم تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - قدرت در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۸ به ترتیب در دانشگاه‌های تربیت معلم آذربایجان و تربیت مدرس به پایان رسانیده است. هم‌اکنون دانشجوی دوره دکترای مهندسی برق دانشگاه تربیت مدرس است. زمینه تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: قابلیت اطمینان شبکه‌های قدرت، انرژی‌های نو و مدیریت مصرف.

محمودرضا حقی‌فام تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترای در رشته مهندسی برق - قدرت در سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۰ و ۱۳۷۴ به ترتیب در دانشگاه تبریز، تهران و تربیت مدرس به پایان رسانیده است. هم‌اکنون استاد تمام دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس است. زمینه تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: قابلیت اطمینان سیستم قدرت، طراحی و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع، کیفیت توان.

جدول ۲: تأثیر ضریب نفوذ نیروگاه بادی بر روی ظرفیت قابل اعتبار.

ظرفیت قابل اعتبار (مگاوات)	توان نیروگاه بادی (مگاوات)
۶,۴۲	۲۰
۹,۴۶	۳۰
۱۲,۳۸	۴۰
۱۵,۰۵	۵۰

نیروگاه بادی در مقایسه با واحد معمولی محاسبه شده است. در جدول ۲ میزان ظرفیت قابل اعتبار نیروگاه بادی ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ مگاواتی در مقایسه با واحدهای معمولی محاسبه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ظرفیت قابل اعتبار نیروگاه بادی در مقایسه با نیروگاه معمولی حدوداً ۳۰ درصد ظرفیت نصب‌شده می‌باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا روش‌های مختلف مدل‌سازی نیروگاه بادی در مطالعات قابلیت اطمینان بررسی شد. سپس دو روش برای مدل‌سازی سرعت باد ارائه شده است. روش MCMC توزیع احتمال سرعت باد را با دقت مناسبی به دست می‌آورد. با توجه به این که مطالعات قابلیت اطمینان مباحث احتمالاتی می‌باشد، این ویژگی روش MCMC برای مدل‌سازی نیروگاه بادی در مطالعات قابلیت اطمینان از اهمیت بالایی برخوردار است. در ادامه از روش فازی-مارکوف برای مدل‌سازی مزرعه‌های بادی که اطلاعات کافی از سرعت باد منطقه موجود نیست، استفاده شده است. در این روش نرخ ورود و خروج مدل مارکوف به صورت فازی در نظر گرفته شده و در نتیجه احتمال حدی هر حالت مارکوف به صورت فازی محاسبه می‌شود. بنابراین در مزرعه‌های بادی که اطلاعات سرعت باد در بازه زمانی کوتاهی موجود است، می‌توان از این روش برای مدل‌سازی تولید نیروگاه بادی استفاده نمود.

مراجع

- [1] G. R. Pudaruth and F. Li, "Capacity credit variation in distribution systems," in *Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 7 pp., 20-24 Jul. 2008.
- [2] M. Milligan and K. Porter, "Wind capacity credit in the United States," in *Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 5 pp., 20-24 Jul. 2008.

SID



سرویس های
ویژه



سرویس ترجمه
تخصصی



کارگاه های
آموزشی



بلاگ
مرکز اطلاعات علمی



عضویت در
خبرنامه



فیلم های
آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛
شبکه های توجه گرافی
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی