ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع شامل تولیدات پراکنده با معیار بی‌نظمی

مریم اخوان حجازی[1*] علی محمد حریری[2] رضا گلردی[3]

۱- استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

mhejazi@kashanu.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

am.hariri@grad.kashanu.ac.ir

۳- کارشناس ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

r.gelardi@grad.kashanu.ac.ir

چکیده: ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که طراحان سیستم با آن مواجه هستند. در این مقاله به ارزیابی قابلیت اطمینان یک شبکه توزیع شامل تولیدات پراکنده با استفاده از روش مونت‌کارلو پرداخته شده است. این شبکه توزیع شامل تولیدات پراکنده‌ای نظیر سیستم فتوولتائیک، توربین بادی و موتور رفت‌وبرگشتی گازسوز است. از توزیع نرمال برای شبیه‌سازی مدل احتمالی سیستم فتوولتائیک، از توزیع ویبول برای شبیه‌سازی توان خروجی توربین بادی و از موتور رفت‌وبرگشتی گازسوز نیز برای تأمین پیک بار استفاده شده است. برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع شامل سیستم فتوولتائیک و توربین بادی که دارای خروجی تصادفی هستند، از روش‌های احتمالی استفاده شده است. در این مقاله از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو با معیار بی‌نظمی استفاده شده است.برای ارزیابی قابلیت اطمینان،شبکه آزمایشی بیلینتون ۲ RBTS BUS) (2در نرم‌افزار متلب مدل شده است که به آن سیستم فتوولتائیک، توربین بادی و موتور رفت‌وبرگشتی گازسوز نیز اضافه شده و شاخص‌های قابلیت اطمینان نظیرSAIFI، SAIDI، CAIDI و غیره با استفاده از معیار بی‌نظمی محاسبه شده اند. با استفاده از معیار بی‌نظمی، فیدرهای با مشترکین پراهمیت ارزش بیشتری پیدا کرده و شاخص های قابلیت اطمینان سیستم بهبود یافته اند.

کلمات کلیدی: قابلیت اطمینان، تولیدات پراکنده، بی‌نظمی، روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، شاخص‌های قابلیت اطمینان، شبکه توزیع

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۵/۱۰/۰۸

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۶/۱۰/۰۲

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر مریم اخوان حجازی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران –کاشان– بلوار قطب راوندی– دانشگاه کاشان– دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.3.6.8]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.15- No.3-Fall 2018

۱- مقدمه

تولیدات پراکنده باعث قابلیت اطمینان بیش‌تر و کاهش ضررهای ناشی از قطع ناگهانی برق می‌شوند. گرایش به سمت استفاده از تولیدات پراکنده در حال افزایش است. اما استفاده از تولیدات پراکنده علاوه بر مزایای آن‌ها، مشکلاتی نیز به همراه دارد [۱, ۲]. ریزشبکه نیز شامل تأسیساتی است که حاوی چندین بار و تولیدات پراکنده می‌باشد که به عنوان سیستمی مستقل و تولیدکننده برق و گرما به شمار می‌رود. ریزشبکه بخشی از سیستم توزیع می‌باشد که شامل منابع انرژی پراکنده است و می‌تواند در صورت اتفاق افتادن خطای بالادست از بقیه سیستم توزیع جدا شود [۳-۵].

ارزیابی قابلیت اطمینان ریزشبکه‌ها یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که طراحان سیستم با آن مواجه می‌باشند. ارزیابی قابلیت اطمینان با وجود حالت‌های کاری متغیر ریزشبکه‌ها، مشخصه‌های خروجی متفاوت تولیدات پراکنده و روش‌های گوناگون بازیابی بارهای محلی بعد از قطعی پیچیده‌تر نیز می‌شود.

به منظور اجرای مطالعات قابلیت اطمینان، مدل احتمالی توان خروجی باید در دسترس باشد. مدل‌های توان خروجی منابع انرژی تجدیدپذیر مثل تابش خورشید و انرژی بادی در [۶] نشان داده شده‌اند. در این مطالعه مدل‌های احتمالی برای پیش‌بینی نوسانات این منابع به منظور مطالعه شاخص‌های قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت ارائه شده است. در مرجع [۷] به بررسی سه روش مختلف برای پیش‌بینی توان خروجی سیستم‌های فتوولتائیک یعنی توزیع نرمال، ویبول و بتا پرداخته شده و نتایج آن مقایسه شده است. در مرجع [۸] مدل احتمالی توان خروجی فتوولتائیک ارائه شده است. این مدل نشان دهنده میانگین و واریانس توان خروجی فتوولتائیک است. مقایسه اطلاعات هواشناسی و نتایج حاصل از این مدل‌سازی نشان می‌دهد که واریانس توان خروجی از توزیع نرمال پیروی می‌کند.

برای بهبود مدل قابلیت اطمینان در ژنراتور بادی باید غیردائمی بودن شدت باد نیز در نظر گرفته شود تا نتایج به واقعیت نزدیک‌تر باشند. در مرجع [۹] مدلی برای ارزیابی تأثیر توربین بادی روی قابلیت اطمینان سیستم ارائه شده است. در این مطالعه تأثیرات قطعی اضطراری توربین بادی و تغییرات شدت باد روی قابلیت اطمینان محاسبه شده است. در مرجع [۱۰] به مطالعه تأثیر ژنراتورهای بادی روی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت پرداخته شده است و مدلی برای نرخ خرابی ژنراتورها و تجهیزات مربوط به آن مثل مبدل‌های DC/AC ارائه شده است. در این مطالعه برای تولید سرعت باد (ساعتی) از توزیع ویبول استفاده شده است. در مرجع [۱۱] مدل‌سازی قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن تولیدات بادی ارائه شده است و داده‌های آماری واقعی با داده‌های شبیه‌سازی شده در مکان‌های مختلف کانادا مقایسه شده است.

در مرجع[۱۲] با استفاده از روش مونت‌کارلو، الگوریتمی برای ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع پیچیده ارائه شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیستم RBTS با نتایج حاصل از روش‌های تحلیلی مقایسه شده است. در مرجع [۱۳] به ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع شامل ریزشبکه‌ها پرداخته شده است. تأثیر پروفیل بار به دو روش مدل‌سازی منحنی بار و استفاده از پیک بار مطالعه شده است. در مرجع[۱۴] به بررسی تأثیر تولیدات پراکنده و سیستم‌های ذخیره‌سازی بر قابلیت اطمینان سیستم توزیع پرداخته شده است. در این مطالعه از مدل‌سازی سیستم ذخیره‌سازی برای کاهش نوسانات توان خروجی منابع تجدیدپذیر استفاده شده است.

اثر تولیدات پراکنده قابل‌کنترل روی سیستم قدرت و ریزشبکه‌ها در [۱۵] مشخص شده است و برای مدل‌سازی تولید پراکنده در تأسیسات توزیع یک مدل قابلیت اطمینان ارائه شد. اثر جزیره‌ای شدن عمدی تولیدات پراکنده قابل‌کنترل روی قابلیت اطمینان شبکه توزیع در [۱۶, ۱۷] تعیین شده است. در هر دو مطالعه روشی برای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع با منابع انرژی پراکنده ارائه شده است. درمرجع[۱۸] روش برای بهره‌برداری بهینه از تولیدات پراکنده و ارزیابی قابلیت اطمینان تولیدات پراکنده در سیستم توزیع پیشنهاد شده است.

در مرجع [۱۹- ۲۲] قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع به همراه تولیدات پراکنده مورد ارزیابی قرار گرفته است. روش تجزیه‌وتحلیل قابلیت اطمینان ریزشبکه در شبکه توزیع فشار ضعیف و همچنین ارزیابی قابلیت اطمینان مصرف‌کنندگان و قابلیت اطمینان تأثیر ریزشبکه بر شبکه توزیع فشار متوسط در [۲۳] پیشنهاد شده است. در هنگام محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان مصرف‌کنندگان در ریزشبکه با استفاده از روش‌های تحلیلی، به دلیل وجود مراحل پیچیده بازیابی بار بعد از خطا از ماتریس وابستگی استفاده شده است [۲۴]. اثر قابلیت اطمینان تولیدات پراکنده غیردائمی در [۲۵، ۲۶] بررسی شده است. یک روش احتمالی برای ارزیابی اثر تولیدات پراکنده تجدیدپذیر بر قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع هنگام عملکرد مجاز آن‌ها در حالت جزیره‌ای در [۲۵] پیشنهاد شده است. شاخص‌های مفید شبکه‌های توزیع با استفاده از هر دو روش تحلیلی و روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو هنگام عملکرد تولیدات پراکنده تجدیدپذیر در هر دو حالت مستقل از شبکه و متصل به آن، در [۲۶] پیشنهاد شده است.

یکی از اهداف این مقاله اضافه نمودن منابع تولید پراکنده دارای توان خروجی تصادفی به شبکه RBTS BUS 2 و توانایی مدل‌سازی خروجی آن‌ها می‌باشد و تأثیر تولید پراکنده تجدیدپذیر روی قابلیت اطمینان شبکه توزیع بررسی می‌شود.

RBTS، شبکه مورد مطالعه در این مقاله، شامل ۶ شین است. در ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع شین ۲ و ۴ به دفعات مورد استفاده قرار می‌گیرند، چون این شین‌ها حاوی اطلاعاتی درباره اجزای سیستم نظیر نرخ خرابی، متوسط زمان تعمیر برای خطوط هوایی و

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.3.6.8]

کابل‌های زیرزمینی هستند[۲۷، ۲۸].

در بخش اول به مفاهیم مختلف قابلیت اطمینان در سیستم قدرت پرداخته می‌شود و شاخص‌های آن و روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان در سیستم قدرت مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد و پس از آن مدل خروجی انواع تولیدات پراکنده با ماهیت تصادفی بررسی می‌شود. در قسمت بعد مفهوم بی‌نظمی بیان شده است. در روش پیشنهادی، نحوه ارزیابی قابلیت اطمینان با استفاده از معیار بی‌نظمی در ساختار روش مونت‌کارلو ترتیبی تشریح می‌گردد و در انتها به شبیه‌سازی سیستم تحت مطالعه و بررسی نتایج حاصل از آن پرداخته می‌شود.

۲- مباحث تئوری

۲-۱- قابلیت اطمینان

قابلیت اطمینان سیستم عبارت است از توانایی آن سیستم در انجام وظایف تعیین شده در شرایط محیطی و بهره‌برداری معین و در یک بازه زمانی مشخص. ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم توزیع توسط شاخص‌های مربوطه که استاندارد IEEE آن‌ها را معرفی نموده انجام می‌شود:

۲-۱-۱- شاخص‌های نقاط بار

سه پارامتر اساسی قابلیت اطمینان متوسط نرخ خرابی (λ)، عدم در دسترس بودن سالیانه یا متوسط زمان بی‌برقی سالیانه (U) و متوسط زمان بی‌برقی (r) می‌باشند [۲۹].

آنچه مسلم استاین است که این پارامترها به تنهایی نمی‌توانند تعیین کننده وضعیت و رفتار سیستم باشند. به همین دلیل جهت دستیابی به درک بهتری از رفتار سیستم، شاخص‌های متعددی در استاندارد IEEE-1366 مطرح شده‌اند.

۲-۱-۲- شاخص‌های سیستم

شاخص متوسط دفعات قطع برق سیستم (SAIFI)، شاخص زمان متوسط قطع برق سیستم (SAIDI)، شاخص زمان متوسط قطع برق مشترکین (CAIDI)، شاخص متوسط دسترسی به انرژی برق (ASAI) و شاخص متوسط عدم دسترسی به انرژی برق (ASUI)، شاخص‌هایی هستند که به بررسی آنها پرداخته شده است [۲۹].

۲-۱-۳- روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو (MCS)

در کنار روش‌های تحلیلی، از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای مدل‌سازی و ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت استفاده می‌شود.روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو یک روشی احتمالی است که برای پیش‌بینی رفتار اجزای سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. اطلاعات مورد نیاز برای این روش شامل داده‌های آماری مربوط به خرابی و تعمیر اجزا و همچنین آرایش سیستم مورد نظر است. بر اساس توزیع احتمال داده‌های آماری، نمونه‌های تصادفی از زمان‌های خرابی و تعمیر تولید می‌شود تا یک سری نتایج عددی برای شاخص‌های قابلیت اطمینان محاسبه شوند. با تکرار این فرآیند با نمونه‌های تصادفی جدید از ورودی توزیع احتمال، مقادیر جدیدی برای شاخص‌های قابلیت اطمینان محاسبه می‌شود. بعد از تعداد دفعات تکرار زیاد، قابلیت اطمینان مورد نظر سیستم محاسبه می‌شود که در نتیجه مقادیر محاسبه شده برای هر شاخص قابلیت اطمینان را می‌توان با استفاده از توزیع احتمال آن شاخص نشان داد [۳۰].

۲-۱-۴- روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو ترتیبی

روش شبیه‌سازی ترتیبی یکی از انواع روش‌های شبیه‌سازی مونت‌کارلو است که در آن رفتار اجزای سیستم به گذشته مربوط می‌شود.

در شبیه‌سازی مونت‌کارلو ترتیبی، یک تاریخچه مصنوعی نشان دهنده زمان‌های آماده به کار و از کار افتادگی عناصر سیستم وجود دارد که با استفاده از تولیدکننده‌های اعداد تصادفی و توزیع احتمال خرابی و تعمیر اجزا به ترتیب زمانی تولید می‌شوند [۳۱].

خرابی اجزا می‌تواند یک یا چند نقطه بار را تحت تأثیر قرار دهد. پس با پیدا کردن فیدر معیوب و در نتیجه پیدا کردن نقاط بار متأثر از خراب شدن اجزا می‌توان تاریخچه بهره‌برداری-تعمیر آن المان را پیدا کرد. با استفاده از رابطه بین حالات اجزا و حالات سیستم، ترتیبی از سیکل‌های بهره‌برداری- تعمیر سیستم ناشی از تاریخچه مصنوعی تولید شده به دست آورد. در نهایت شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم از تاریخچه مصنوعی سیستم به دست می‌آیند. اما، بررسی این روش نشان می‌دهد که در این روش برای پیدا کردن فیدر معیوب فقط از یک پارامتر یعنی حداکثر نرخ خرابی استفاده می‌شود و پارامترهای دیگر در نظر گرفته نمی‌شوند.شاید قسمتی از سیستم قدرت نرخ خرابی کمی داشته باشدکه خروج آن اثرات زیان بارتری داشته باشد. در این مقاله معیار بی‌نظمی پیشنهاد شده است به این معنا که خروج یک فیدر شامل مصرف کنندگان زیاد یا مهم، بی‌نظمی بیشتری نسبت به خروج فیدری دارد که احتمال خرابی آن بیشتر است اما مصرف کنندگان کمتر یا با اهمیت کمتری دارد . به عبارت دیگر با در نظر گرفتن مفهوم ریاضیاتی بی‌نظمی می‌توان با جمع کردن میزان بی‌نظمی مواردی مثل نرخ خرابی، پیک و متوسط بار هر بخش و تعداد مصرف‌کنندگان موجود در هر بخش به درک بهتری از وضعیت کلی سیستم رسید.

با استفاده از معادلات (۱) تا (۳) و با داشتن تاریخچه بهره‌برداری-تعمیر نقطه بار، می‌توان مقادیر متوسط سه شاخص اصلی قابلیت اطمینان نقطه بار را برای نقطه بار jام محاسبه نمود.

$$\lambda_j = \frac{N_j}{\sum T_{uj}} \qquad (۱)$$

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.3.6.8]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.15- No.3-Fall 2018

$$r_j = \frac{\sum T_{dj}}{N_j} \quad (۲)$$

$$U_j = \frac{\sum T_{dj}}{\sum T_{uj} + \sum T_{dj}} \quad (۳)$$

که در آن $\sum T_{uj}$ برابر با مجموع تمام زمان‌های آماده به کار T_u یا همان TTF در رابطه (۴) و $\sum T_{dj}$ برابر با مجموع تمام زمان‌های از کار افتاده T_dیا همان TTR در رابطه (۵) و N_j برابر با تعداد خرابی‌ها در طول سال‌های نمونه‌برداری شده هستند.

$$TTF = -\frac{1}{\lambda}\ln(n) \quad (۴)$$

$$TTR = -\frac{1}{\mu}\ln(n) \quad (۵)$$

که در آن λ نرخ خرابی اجزای سیستم، μ نرخ تعمیر اجزای سیستم و n عددی تصادفی بین صفر تا یک است.

۲-۱-۵- تأثیر تولیدات پراکنده بر قابلیت اطمینان

تولیدات پراکنده در صورتی که با شبکه هماهنگ باشند می‌توانند قابلیت اطمینان را بهبود دهند. اگر تولید آن‌ها بیشتر از بار محلی یک ناحیه مجزا از خطا باشد، در صورت قطعی برق می‌تواند بار آن ناحیه را تأمین نموده و آن ناحیه را به مدت بیشتری برق‌دار نگه دارد. تولیدات پراکنده ممکن است فقط به عنوان پشتیبان و در قطع برق استفاده شود و یا ممکن است که در صورت صرفه اقتصادی به صورت موازی با شبکه کار نموده و حتی به شبکه برق بفروشد.

۲-۲- مدل‌سازی تولیدات پراکنده

در این مطالعه، قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع شامل منابع انرژی تجدیدپذیر مثل انرژی بادی و خورشیدی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. توان خروجی سیستم‌های فتوولتائیک و توربین بادی قطعی نیستند و دارای ماهیتی تصادفی هستند. پس برای شبیه‌سازی خروجی این سیستم‌ها نیاز به مدل‌های احتمالی آن‌ها داریم. مدل‌های تصادفی بر اساس روش شبیه‌سازی هستند تا رفتار غیرقطعی و تصادفی این سیستم‌ها را توصیف کنند. در نتیجه می‌توان از توزیع احتمال برای پیش‌بینی خروجی فتوولتائیک و توربین بادی استفاده کرد. برای داشتن داده‌های آماری سرعت باد و تابش خورشید، اطلاعات هواشناسی محل مورد نظر باید جمع‌آوری شود. در این مطالعه، سیستم توزیع شامل موتور رفت‌وبرگشتی گازسوز نیز می‌باشد و توان خروجی آن مدل‌سازی می‌شود. سیستم ذخیره‌سازی نیز برای کاهش پیک بار نیاز می‌باشد، چون پیک بار سیستم فتوولتائیک و توربین بادی در اکثر پروفیل بارها به طور همزمان رخ نمی‌دهد.

۲-۲-۱- مدل توان خروجی انواع تولیدات پراکنده

شدت تابش I(t) و سطح تابش خورشید (S) تأثیر زیادی روی توان خروجی فتوولتائیک می‌گذارند. می‌توان برای یک روز آفتابی شدت تابش خورشید I(t) را استخراج کرد[۱۶]. توان خروجی و شدت تابش خورشید در روابط (۶) و (۷) آورده شده است. شدت تابش خورشید می‌تواند تحت تأثیر عوامل گوناگونی مثل ابرها، دما و رطوبت نسبی قرار گیرد. برای اجرای یک مدل‌سازی دقیق‌تر، باید تغییرات توان خروجی سیستم فتوولتائیک از توزیع نرمال پیروی کند [۳۲].

$$P_{out} = \begin{cases} \frac{\eta_C}{K} * S * I(t)^2 & 0 < I(t) \le K \\ \eta_C * S * I(t) & I(t) > K \end{cases} \quad (۶)$$

$$I(t) = \begin{cases} I_{max}\left(-\frac{1}{36}t^2 + \frac{2}{3}t - 3\right) & 6 \le t \le 18 \\ 0 & 0 \le t < 6 \text{ و } 18 \le t \le 24 \end{cases} \quad (۷)$$

که در آن η_C بازده سیستم فتوولتائیک و K مقدار آستانه است. وقتی که I(t) کمتر یا برابر با K باشد، مقدار η_C ثابت نیست. اما هنگامی که I(t) بیشتر از K شود، آنگاه η_C تقریباً ثابت استتوان خروجی توربین بادی به سرعت باد بستگی دارد. رابطه بین توان خروجی و سرعت باد در[۹] محاسبه شده و در رابطه (۸) آورده شده است. سرعت باد دارای ماهیتی تصادفی است و این باعث ایجاد تغییراتی در توان خروجی می‌شود. داده‌های آماری نشان می‌دهند که توزیع احتمال سرعت باد از توزیع ویبول پیروی می‌کند [۲۷, ۳۳]. توان خروجی توربین بادی در یک سال در[۳۴] محاسبه شده است.

$$P_{out} = \begin{cases} 0 & 0 \le V_t \le V_{ci} \\ \left(A + B \cdot V_t + C \cdot V_t^2\right) P_r & V_{ci} \le V_t \le V_r \\ Pr & V_r < V_t \le V_{co} \\ 0 & V_t > V_{co} \end{cases} \quad (۸)$$

که در آنPr توان نامی خروجی، Vci سرعت وصل باد، Vr سرعت نامی باد، Vco سرعت قطع باد، A ، B و C ثابت‌هایی هستند که به عنوان تابعی از Vci و Vr در [۹] محاسبه شده‌اند.

سرعت باد دارای ماهیتی تصادفی است و این باعث ایجاد تغییراتی در توان خروجی می‌شود. در نتیجه، باید یک روش احتمالی برای این کار در نظر گرفت. داده‌های آماری نشان می‌دهند که توزیع احتمال سرعت باد از توزیع ویبول پیروی می‌کند. تابع چگالی احتمال دو پارامتر توزیع ویبول به صورت رابطه (۹) است.

$$f(v) = \frac{k}{c}\left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (۹)$$

که در آن v سرعت باد، c پارامتر مقیاس و k پارامتر شکل هستند. هم c و هم k را می‌توان به صورت تابعی از میانگین (μ) و انحراف معیار (σ) سرعت باد نشان داد.

موتورهای رفت‌وبرگشتی گازسوز به طور گسترده در شبکه‌های توزیع مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. تعیین مدل توان خروجی موتور رفت‌وبرگشتی گازسوز بسیار ساده است و به ساعات بهره‌برداری آن بستگی دارد.

سیستم ذخیره‌سازی می‌تواند به همراه یک واحد فتوولتائیک به کار رود تا نوسانات ناشی از توان خروجی سیستم فتوولتائیک را صاف کند و با کاهش تقاضا پیک بار را کاهش دهد. علاوه بر این، باتری

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.3.6.8]

می‌تواند به کمک منابع انرژی پراکنده بیاید تا وقتی که منبع اصلی دارای موجودی کافی نیست، بار را تأمین کند [۳۵].

شرایط آب‌وهوایی و تغییرات فصلی بار، مدل‌سازی بار را تحت تأثیر قرار می‌دهند. خوشبختانه، اکثر این اتفاقات در هر سال تکرار می‌شوند. بنابراین، رفتار بارهای سیستم قدرت در شرایط معمولی تکراری است. با استفاده از اطلاعات تجربی می‌توان مدل بار متغیر با زمان را استخراج کرد. ضریب‌های وزنی ماهیانه و ساعتی نیز برای ساخت مدل بار در نظر گرفته شده‌اند[۳۶].

۲-۳-بی‌نظمی

بولتزمن مفهوم بی‌نظمی را از منظر انرژی جنبشی تعریف کرده و به فرمول (۱۰) نائل شده است:

$$S = K.\ln \omega \qquad (۱۰)$$

در آن Kثابت بولتزمن و ω تعداد حالات میکروسکوپی است که به حالت ماکروسکوپی مربوط می‌شود.

طبق نظریه شانون اگر در یک سیستم n واقعه وجود داشته باشد و احتمال هر یک در رابطه (۱۱) صدق کند.

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1 \qquad (۱۱)$$

بی نظمی (H) طبق رابطه (۱۲) بیان می‌شود[۳۷]:

$$H = -K \cdot \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \ln p_i \qquad (۱۲)$$

K ضریبی است که معمولاً یک در نظر گرفته می‌شود. در این مقالهاز مفهوم بی‌نظمی در محاسبه قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت استفاده شده است. سیستم قدرت به عنوان سیستمی مرکب از اجزای مختلف در نظر گرفته شده است که هر جز آن می‌تواند در بی‌نظم شدن کل سیستم تأثیرگذار باشد.بنابراین هر عامل اغتشاشی داخلی یا بیرونی که باعث فروپاشی یا خطای یک بخش از سیستم شود می‌تواند روی دیگر قسمت‌ها نیز تأثیر بگذارد و منجر به فروپاشی یا خطای کل سیستم شود.

بدین منظور و برای شبیه‌سازی سیستم قدرت به سیستم‌های فیزیکی می‌توان سیستم قدرت را به بخش‌های کوچک‌تری تقسیم کرد و میزان بی‌نظمی هر بخش را سنجید. در اینجا نیز برای تقسیم سیستم قدرت به بخش‌های کوچک‌تر از روش استفاده شده در [۳۸] استفاده شده است.

با در نظر گرفتن مفهوم ریاضیاتی بی‌نظمی می‌توان با جمع کردن میزان بی‌نظمی به درک بهتری از وضعیت کلی سیستم رسید. در نهایت با در نظر گرفتن مواردی مثل نرخ خرابی، پیک و متوسط بار هر بخش و تعداد مصرف‌کنندگان موجود در هر بخش بتوان بی‌نظم‌ترین قسمت سیستم قدرت را به دست آورد تا بتوان در ادامه از آن در روش پیشنهادی استفاده کرد. فرمول زیر نشان دهنده میزان بی‌نظمی در هر بخش سیستم قدرت است به صورت رابطه (۱۳) تا (۱۷) پیشنهاد می‌شود:

$$H = -\left(\sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda_i}{\lambda_T} \cdot \ln \frac{\lambda_i}{\lambda_T} + \sum_{i=1}^{n} \frac{P_{avg_i}}{P_{avg_T}} \cdot \ln \frac{P_{avg_i}}{P_{avg_T}} + \sum_{i=1}^{n} \frac{P_{m_i}}{P_{m_T}} \cdot \ln \frac{P_{m_i}}{P_{m_T}} + \sum_{i=1}^{n} \frac{N_i}{N_T} \cdot \ln \frac{N_i}{N_T} \right) \qquad (۱۳)$$

$$\lambda_T = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \qquad (۱۴)$$

$$P_{avg_T} = \sum_{i=1}^{n} P_{avg_i} \qquad (۱۵)$$

$$P_{m_T} = \sum_{i=1}^{n} P_{m_i} \qquad (۱۶)$$

$$N_T = \sum_{i=1}^{n} N_i \qquad (۱۷)$$

که در آن λ_i نرخ خرابی بخش iام، λ_T نرخ خرابی کل، P_{avg_i} متوسط بار بخش iام، P_{avg_T} متوسط بار کل، P_{m_i} پیک بار بخش iام، P_{m_T} پیک بار کل، N_i تعداد مصرف‌کنندگان بخش iام، N_T تعداد کل مصرف‌کنندگان هستند.

فرمول فوق بیان می‌کند که به غیر از نرخ خرابی در بخش iام، هر چه توان و تعداد مصرف‌کنندگان در بخش iام بیشتر باشد خرابی سیستم قدرت بی‌نظمی بیشتری در آن بخش ایجاد می‌نماید. در نتیجه هر چه میزان H آن بخش در سیستم بزرگ‌تر باشد، بی‌نظمی سیستم در آن بخش بیشتر است.

۳- روش پیشنهادی

در این مقاله از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو بهبود یافته بر روی سیستم RBTS BUS 2 شامل تولیدات پراکنده تصادفی استفاده می‌شود تا نتایج حاصل از الگوریتم نحوه تأثیرگذاری تولیدات پراکنده بر قابلیت اطمینان را نشان دهد. برای نوشتن این الگوریتم از برنامه متلب استفاده شده است. برای به دست آوردن نتیجه دقیق، شبیه‌سازی مونت‌کارلو باید با تعداد تکرار بالا انجام شود و زمان شبیه‌سازی نیز می‌تواند با توجه به مورد مطالعاتی و دقت مورد نظر تعیین شود. در این مقاله بازه شبیه‌سازی یک سال و تعداد تکرار ۱۰۰۰۰ بار در نظر گرفته شده است.

برای تعیین فیدر معیوب و دسته‌بندی نقاط بار در مونت‌کارلوی ترتیبی فقط نرخ خرابی اجزای سیستم در نظر گرفته می‌شود و تمام محاسبات بر مبنای آن انجام می‌شود. اما در این مقاله راهکاری برای اصلاح روش مونت‌کارلو در نظر گرفته شده است تا بتوان علاوه بر در نظر گرفتن نرخ خرابی هر بخش، عوامل دیگری را نیز در این انتخاب دخیل کرد.

مطابق روش پیشنهادی می‌توان سیستم قدرت را به بخش‌های

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.3.6.8]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.15- No.3-Fall 2018

کوچک‌تری تقسیم کرد و میزان بی‌نظمی هر بخش را سنجید و اساس روش مونت‌کارلوی ترتیبی را بر اساس میزان بی‌نظمی هر بخش بنا کرد.

در این روش با در نظر گرفتن رفتار تصادفی تولیدات پراکنده و بارها از نظریه ساختار پیچیده و بی‌نظمی برای ارزیابی قابلیت اطمینان ریزشبکه استفاده می‌شود. در این روش سیستم توزیع شعاعی پیچیده را می‌توان به صورت ترکیبی از فیدرهای اصلی و فرعی دسته‌بندی کرد. بخش‌های اصلی می‌تواند شامل خطوط انتقال و یا ترکیبی از خط و کلیدهای قدرت باشد که می‌توانند در هر دو سمت خط نصب شوند. بخش‌های جانبی معمولاً شامل خط، ترانسفورماتور، فیوز و یا ترکیبی از آن‌ها می‌باشد. تمام شرایط در این بخش‌ها از نظر قابلیت اطمینان یکسان است و در نتیجه رخ دادن خطا در هر یک از بخش‌ها منجر به تأثیرگذاری روی قابلیت اطمینان کل سیستم می‌شود. در نهایت با در نظر گرفتن مواردی مثل نرخ خرابی، پیک و متوسط بار هر بخش و تعداد مصرف‌کنندگان موجود در هر بخش در تعیین بی‌نظمی می‌توان به محاسبه شاخص‌های مورد نظر در زمینه قابلیت اطمینان دست یافت. در نتیجه با مبنا قرار دادن بی‌نظمی و در نظر گرفتن بیشترین احتمال خرابی ممکن در هر بخش می‌توان فیدر و در نهایت نقطه باری که تحت تأثیر خرابی ناشی از اجزای مختلف سیستم قرار گرفته است را پیدا کرد.

از مراحل زیر برای شبیه‌سازی قابلیت اطمینان سیستم توزیع شامل ریزشبکه‌ها استفاده شده است:

۱- در ابتدا سیستم توزیع به همراه ریزشبکه‌ها به بخش‌های اصلی و فرعی تقسیم می‌شوند و به نوعی برچسب‌گذاری می‌شوند.

۲- خروجی هر یک از تولیدات پراکنده با استفاده از روابط (۶) تا (۹) شبیه‌سازی می‌شوند.

۳- تاریخچه بهره‌برداری- تعمیر برای اجزای هر بخش با استفاده از روابط (۴) و (۵) تعیین می‌شود.

۴- حال زمان بررسی همگرایی الگوریتم فرامی‌رسد، برای پیش‌بینی تاریخچه مصنوعی مؤلفه‌های سیستم باید زمان‌های خرابی در بازه زمانی مشخصی باشند که در این الگوریتم یک سال یعنی ۸۷۶۰ ساعت در نظر گرفته شده است. پس اگر زمان خرابی اجزا کمتر از ۸۷۶۰ ساعت نباشد، باید الگوریتم از مرحله سوم تکرار شود.

۵- در هر بخش میزان بی‌نظمی هر قسمت با استفاده از معادلات (۱۳) تا (۱۷) تعیین می‌شود.

۶- بیشترین میزان بی‌نظمی در بخش‌های مختلف سنجیده می‌شود و زمان خرابی عنصر موجود در آن بخش استخراج می‌شود.

۷- در نظر گرفتن بخشی که بیشترین بی‌نظمی ممکن را دارد و احتمال خرابی در آن بیشتر است و تعیین مکان المان معیوب، پیدا کردن ابتدا، انتها و شماره فیدری که المان معیوب به آن متصل است.

۸- با مشخص شدن شماره فیدر می‌توان نقاط بار متصل به آن فیدر معیوب را پیدا کرد و بارهای آن را به دو دسته تقسیم کرد. گروه اول، بارهایی که می‌توان آن‌ها را بعد از تعمیر سیستم تامین کرد. گروه دوم بارهای که نمی‌توان آن‌ها را تامین کرد.

۹- تولید زمان تعمیر و تعیین انرژی وقفه برای بارهایی که می‌توان آن‌ها را تعمیر کرد.

۱۰- پیدا کردن فیدر متصل به تولیدات پراکنده و تعیین توان کل تولیدات پراکنده و تعیین بار کل گروه دوم.

۱۱- پیدا کردن قسمت بعدی که بیشترین میزان بی‌نظمی را دارد. استخراج زمان خرابی آن قسمت و در صورتی که مقدار آن کمتر از ۸۷۶۰ باشد الگوریتم از مرحله ۷ تکرار می‌شود و در غیر این صورت از مرحله ۱۳ تکرار می‌شود.

۱۲- تکرار مراحل ۲ تا ۱۲ تا این که تعداد تکرارها حداکثر شود.

تعیین شاخص‌های قابلیت اطمینان مثل SAIFI، SAIDI، CAIDI و غیره با استفاده از روابط ذکر شده در ۲-۷-۲.

در شکل (۱) فلوچارت مورد استفاده برای ارزیابی سیستم توزیع RBTS BUS 2 شامل تولیدات پراکنده با معیار بی‌نظمی نشان داده‌است.

۴- شبیه‌سازی

اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌سازی شبکه توزیع RBTS BUS 2که دارای ۴ فیدر اصلی و ۲۲ فیدر فرعی است، شامل طول و شماره فیدرها، متوسط و پیک بار و تعداد مصرف‌کنندگان، نقاط بار و شاخص‌های قابلیت اطمینان اجزای سیستم در [۶] آمده است. شبکه توزیع RBTS BUS 2 شامل تولیدات پراکنده، اطلاعات مربوط به شدت تابش خورشید به صورت ماهیانه، سرعت باد و توربین بادی در [۳۵] می‌باشد.

در جدول (۱) با مقایسه‌ی مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان که از برنامه رایانه‌ای حاضر به دست آمده‌اند و مقادیر گزارش شده توسط مرجع [۳۵]، مشاهده می‌شود که اختلاف، اندک بوده و از صحت عملکرد این برنامه در محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان، اطمینان حاصل می‌شود.

جدول (۱): مقایسه مقادیر شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم RBTS BUS 2 شامل تولیدات پراکنده حاصل از برنامه رایانه‌ای با مقادیر موجود در مرجع [۳۵].

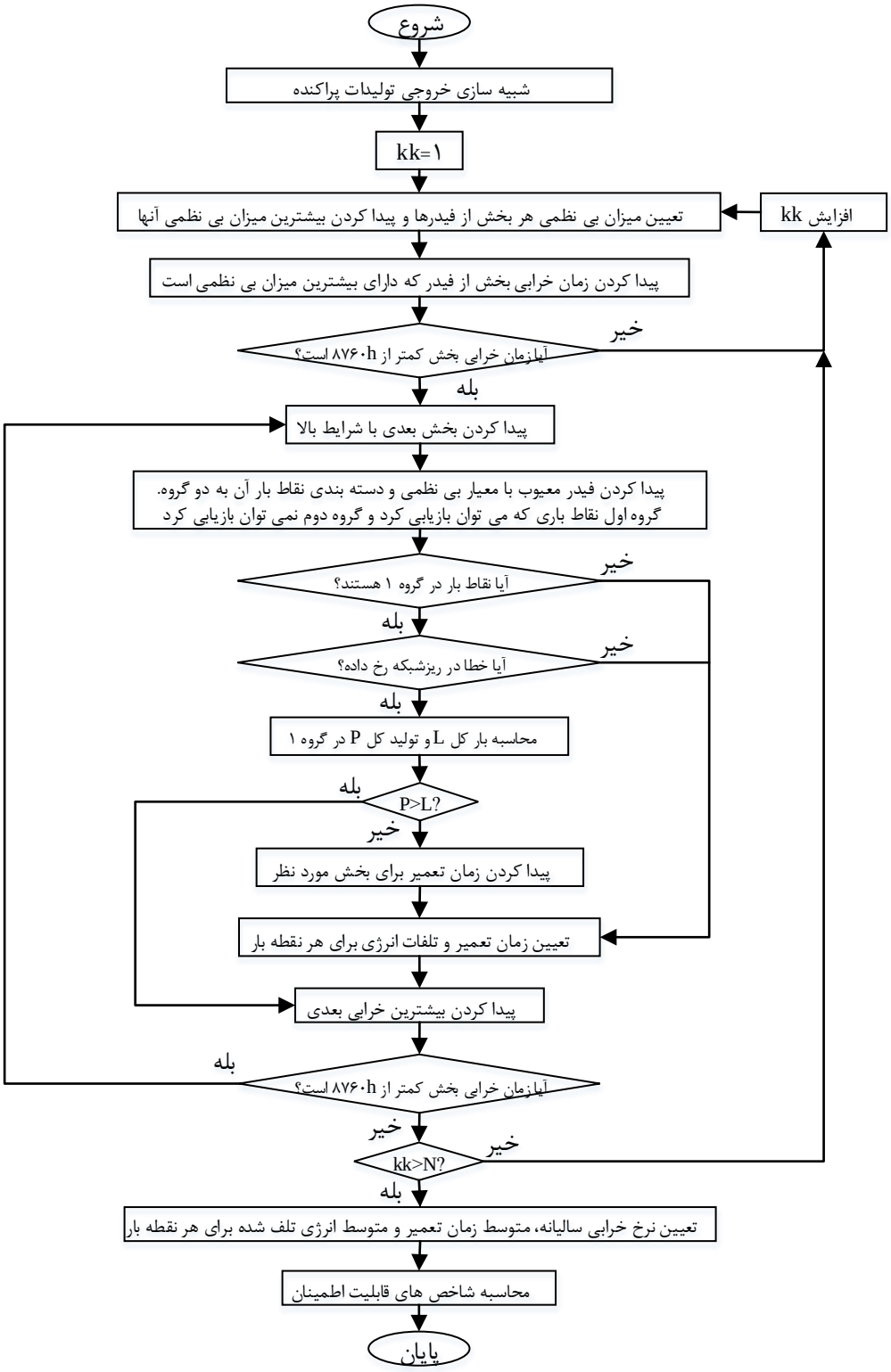
	SAIFI	SAIDI	ASAI	ASUI
مقادیر موجود در مرجع [۳۵]	۰/۱۵۰۵	۰/۹۴۷۳	۰/۹۹۹۸۹۱	۰/۰۰۰۱۰۹
مقادیر حاصل از برنامه رایانه‌ای	۰/۱۷۷۳	۰/۸۴۷۹	۰/۹۹۹۹۲۸	۰/۰۰۰۰۷۲

جدول (۲) نشان دهنده نرخ‌های خرابی شبکه توزیع RBTS BUS 2 بدون تولیدات پراکنده و جدول (۳) نمایانگر نرخ‌های خرابی شبکه توزیع شامل تولیدات پراکنده است. نتایج نشان می‌دهد که در ۱۶

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.3.6.8]

نقطه بار از ۲۲ نقطه بار، نرخ خرابی با اضافه کردن نتایج تولید پراکنده کاهش یافته است.

جدول (۴) نشان دهنده شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه توزیع RBTS BUS 2 بدون تولیدات پراکنده و جدول (۵) نمایانگر شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه توزیع شامل تولیدات پراکنده است.



شکل (۱): فلوچارت مورد استفاده برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم توزیع RBTS BUS 2 شامل تولیدات پراکنده با معیار بی‌نظمی

۷

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.3.6.8]

جدول (۲): نرخ خرابی سیستم RBTS BUS 2 بدون تولیدات پراکنده با استفاده از روش مونت‌کارلو.

نقطه بار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
نرخ خرابی	۰/۱۴۳	۰/۱۵۵	۰/۲۲۳	۰/۲۱۹	۰,۳۱۴	۰/۲۹۹	۰/۳۰۲	۰/۱۲۴	۰/۱۱۹	۰/۱۵۵	۰/۲۴۰
نقطه بار	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
نرخ خرابی	۰/۲۴۵	۰/۲۹۸	۰/۳۰۴	۰/۲۹۹	۰/۱۷۳	۰/۱۶۴	۰/۲۵۰	۰/۲۴۳	۰/۳۱۵	۰/۳۱۷	۰/۳۲۲

جدول (۳): نرخ خرابی سیستمRBTS BUS 2 شامل تولیدات پراکنده با استفاده از روش مونت‌کارلو.

نقطه بار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
نرخ خرابی	۰/۱۴۴	۰/۱۵۲	۰/۲۱۲	۰/۲۰۴	۰/۲۵۴	۰/۲۵۱	۰/۲۳۰	۰/۱۲۶	۰/۱۱۸	۰/۱۵۷	۰/۱۷۲
نقطه بار	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
نرخ خرابی	۰/۲۲۸	۰/۲۹۰	۰/۳۰۰	۰/۳۰۱	۰/۱۷۴	۰/۱۶۴	۰/۱۶۵	۰/۲۳۳	۰/۲۶۵	۰/۲۵۴	۰/۲۵۷

جدول (۴): شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم RBTS BUS 2 بدون تولیدات پراکنده با استفاده از روش مونت‌کارلو.

شماره فیدر	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
۱	۰/۱۸۳	۰/۸۰۹	۴/۴۲۳	۰/۹۹۹۹۰۷	۰/۰۰۰۰۹۳
۲	۰/۱۱۸	۰/۴۸۵	۴/۴۲۳	۰/۹۹۹۹۴۴	۰/۰۰۰۰۳۶
۳	۰/۲۲۱	۰/۸۹۹	۴/۴۲۳	۰/۹۹۹۸۹۸	۰/۰۰۰۱۰۲
۴	۰/۲۱۴	۰/۸۴۳	۳/۲۹۳	۰/۹۹۹۹۰۳	۰/۰۰۰۰۹۷
مجموع	۰/۲۰۵	۰/۸۵۰	۴/۱۲	۰/۹۹۹۹۲۶	۰/۰۰۰۰۷۴

جدول (۵): شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم RBTS BUS 2 شامل تولیدات پراکنده با استفاده از روش مونت‌کارلو.

شماره فیدر	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
۱	۰/۱۷۱	۰/۷۹۹	۴/۶۵۳	۰/۹۹۹۹۰۸	۰/۰۰۰۰۹۲
۲	۰/۱۱۸	۰/۴۸۵	۴/۴۲۳	۰/۹۹۹۹۴۴	۰/۰۰۰۰۳۶
۳	۰/۲۲۱	۰/۸۹۹	۴/۴۲۳	۰/۹۹۹۸۹۸	۰/۰۰۰۱۰۲
۴	۰/۱۹۸	۰/۸۵۴	۴/۶۵۳	۰/۹۹۹۹۰۵	۰/۰۰۰۰۹۵

۴-۱- بررسی تأثیر شاخص بی‌نظمی بر شاخص‌های قابلیت اطمینان

مشکل‌ترین قسمت در روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو پیدا کردن نقطه بار متأثر از خراب شدن اجزا و در نتیجه تعیین کردن تاریخچه بهره‌برداری-تعمیر آن است.

بدین منظور می‌توان با استفاده از مفهوم پایه‌ای بی‌نظمی سیستم توزیع را به قسمت‌های مختلفی تقسیم کرد.سیستم توزیع شعاعی پیچیده را می‌توان به صورت ترکیبی از فیدرهای اصلی و فرعی دسته‌بندی کرد. پس با در نظر گرفتن معیارهایی مانند نرخ خرابی، متوسط و پیک بار هر بخش و تعداد مصرف‌کنندگان هر بخش می‌توان به میزان بی‌نظمی هر بخش دسترسی پیدا کرد. در نتیجه با مبنا قرار دادن بی‌نظمی و در نظر گرفتن بیشترین احتمال خرابی ممکن در هر بخش می‌توان فیدری که تحت تأثیر خرابی ناشی از اجزای مختلف سیستم قرار گرفته است را پیدا کرد. به عبارت دیگر نامنظم‌ترین بخش سیستم را از نظر تعداد مصرف‌کنندگان، مصرف بار و خرابی احتمالی پیدا کرد و محاسبات را بر مبنای آن انجام داد. با استفاده از معیار بی نظمی اگر نرخ خرابی، نزدیک به مقدار مونت‌کارلوی معمولی باشد مشخص می‌شود که مشترکین با اهمیت بیشتر در فیدرهایی قرار دارند که در معرض خرابی بیشتر هستند و در صورتی که حاصل نرخ خرابی از روش مونت‌کارلو با معیار بی نظمی خیلی کمتر از مونت‌کارلوی معمولی باشد مشترکین پر اهمیت در فیدرهایی با نرخ خرابی کمتر هستند.

جدول (۶) نرخ خرابی سیستم RBTS BUS 2 شامل تولیدات پراکنده را با استفاده از معیار بی‌نظمی نشان می‌دهد. با مقایسه با جدول ۳، مشخص می‌شود که نرخ خرابی جدول ۶ کمتر از جدول ۳ می‌باشد. چون در هر تکرار به جای انتخاب فیدر با بیشترین احتمال خرابی از فیدری که بیشترین بی‌نظمی را ایجاد می‌کند استفاده شده است.

در جدول (۷)، شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستمRBTS BUS 2 شامل تولیدات پراکنده برای نقاط بار مختلف نشان داده شده است. برای محاسبه این شاخص‌ها از معیار بی‌نظمی استفاده شده است.

دلیل تفاوت جدول ۷ با جدول ۵ این است که در روش مونت‌کارلو فقط نرخ خرابی اجزا در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه فیدر معیوب در روش مونت‌کارلو می‌تواند مصرف‌کنندگان کمتری نسبت به بقیه فیدرها داشته باشد یا شاید پیک بار نقاط بار آن کمتر از سایر فیدرها باشد اما در این روش پیشنهادی از پایه روش انتخاب کردن فیدر معیوب عوض شده است. فیدری به عنوان فیدر معیوب انتخاب می‌شود که به طور همزمان همه معیارهای ذکر شده را با هم در نظر بگیرد.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.3.6.8]

جدول (۶): نرخ خرابی سیستم RBTS BUS 2 شامل تولیدات پراکنده با استفاده از معیار بی‌نظمی

نقطه بار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
نرخ خرابی	۰/۱۰۰	۰/۱۱۰	۰/۱۲۱	۰/۱۲۵	۰/۱۳۸	۰/۱۳۵	۰/۱۳۳	۰/۰۷۹	۰/۰۷۵	۰/۱۰۵	۰/۱۲۰
نقطه بار	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
نرخ خرابی	۰/۱۱۳	۰/۱۱۴	۰/۱۱۴	۰/۰۸۱	۰/۱۱۷	۰/۱۰۶	۰/۱۱۲	۰/۱۲۷	۰/۱۸۲	۰/۱۴۳	۰/۱۴۸

با پیدا کردن فیدر معیوب و در پی آن نقطه بار معیوب با مفهوم بی‌نظمی باعث می‌شود SAIFI کل از مقدار ۰/۱۷۹ به مقدار ۰/۱۱۳ برسد و این امر نمایانگر این است که با به‌کارگیری این مفهوم تعداد دفعات قطعی مشترکین بهتر نمایش داده می‌شود. لذا با مفهوم جدید ارائه شده در این مقاله و مقایسه آن با نتایج مونت کارلو معمولی، مشاهده می‌شودکه احتمال خطاهای فیدرهای تاثیر گذار شبکه، کمتر از فیدرهای معمولی است.

جدول (۷): شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم RBTS BUS 2 شامل تولیدات پراکنده با استفاده از معیار بی‌نظمی.

شماره فیدر	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
۱	۰/۱۱۱	۰/۵۵۲	۴/۴۵۲	۰/۹۹۹۹۳۵	۰/۰۰۰۰۶۵
۲	۰/۰۶۴	۰/۳۱۲	۴/۶۳۳	۰/۹۹۹۹۶۴	۰/۰۰۰۰۳۴
۳	۰/۱۰۸	۰/۵۳۴	۴/۶۳۲	۰/۹۹۹۹۳۸	۰/۰۰۰۰۶۲
۴	۰/۱۱۶	۰/۵۴۳	۴/۵۲	۰/۹۹۹۹۳۷	۰/۰۰۰۰۶۳
مجموع	۰/۱۱۳	۰/۵۴۶	۴/۵۵۲	۰/۹۹۹۹۵۲	۰/۰۰۰۰۴۸

مقادیر SAIDI کل و CAIDI کل تغییر زیادی کرده است و این امر به این دلیل است که این دو شاخص به مدت زمان خاموشی و مصرف‌کنندگان وابستگی زیادی دارند و علاوه بر نرخ خرابی، افزودن تعداد مصرف‌کنندگان به عنوان معیار انتخاب فیدر معیوب باعث می‌شود تا تعداد مصرف‌کنندگانی که حداقل یک خاموشی یا مدت زمانی، خاموشی را تجربه کرده‌اند تغییر زیادی پیدا کند. مقادیر ASAI و ASUI نیز بهبود یافته‌اند و این امر نشان دهنده این است که این شاخص روی میزان ساعات برق‌دار بودن مشترکین نیز تأثیر مثبتی گذاشته است. در نهایت می‌توان گفت در این روش به دلیل تأثیر روی نرخ خرابی در سیستم و اصلاح آن و وجود همزمان تولیدات پراکنده در سیستم شاخص‌های قابلیت اطمینان بهبود یافته‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

با استفاده از معیار بی‌نظمی، فیدرها با مشترکین پراهمیت ارزش بیشتری پیدا کرده و صرفا نرخ خرابی فیدرها تاثیرگذار نمی‌باشد. با پیدا کردن فیدر معیوب و درپی آن نقطه بار معیوب با مفهوم بی‌نظمی، باعث می‌شود SAIFI کل کاهش یابد و این امر نمایانگر این است که با به‌کارگیری این مفهوم تعداد دفعات قطعی مشترکین با اهمیت به مراتب کمتر از مشترکین عادی است. مقادیر SAIDI کل و CAIDI کل نیز کاهش یافته‌اند و این امر به این دلیل است که این دو شاخص به مقدار زیادی مدت زمان خاموشی و مصرف‌کنندگان بستگی دارند و علاوه بر نرخ خرابی، افزودن تعداد مصرف‌کنندگان به عنوان معیار انتخاب فیدر معیوب باعث می‌شود تا تعداد مصرف‌کنندگانی که حداقل یک خاموشی را تجربه کرده‌اند و یا مدت زمان خاموشی تغییر زیادی کند. مقادیر ASAI و ASUI نیز بهبود یافته‌اند و این امر نشان دهنده این است که این شاخص روی میزان ساعات برق‌دار بودن مشترکین نیز تأثیر مثبتی گذاشته است. در نهایت می‌توان گفت با اعمال معیار بی‌نظمی به ساختار روش مونت‌کارلو به دلیل در نظر گرفتن مواردی مثل تعداد مصرف‌کنندگان، پیک و متوسط بار هر بخش و نرخ خرابی در انتخاب فیدر معیوب، تأثیر زیادی روی نرخ خرابی سیستم و شاخص‌های قابلیت اطمینان گذاشته می‌شود.

مراجع

[1]W. Shouxiang, L. Zhixin, W. Lei, M. Shahidehpour, and L. Zuyi, "New Metrics for Assessing the Reliability and Economics of Microgrids in Distribution System," IEEE Transactions on, Power Systems, vol. 28, pp. 2852-2861, 2013.

[2]T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, "Distributed generation: a definition1," Electric Power Systems Research, vol. 57, pp. 195-204, 4/20/ 2001.

[۳]پوریا معقولی، مسعود حسنی مرزونی، سیّد حمید حسینی "برنامه‌ریزی شبکه انتقال در راستای افزایش کارایی بازار و با استفاده از معیارهای احتمالاتی قابلیت اطمینان"، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران. ۱۳۸۶; ۴ (۱) :۱۱-۳.

[4]R. Lasseter, A. Abbas, C. Marnay, J. Stevens, J. Dagle, R. Guttromson, et al., "Integration of Distributed Energy Resources: The CERTS Microgrid Concept California Energy Commission," P500-03 F, vol. 89, 2003.

[۵] صالحی دوبخشری احمد، فتوحی فیروزآباد محمود،"برنامه ریزی توسعه واحد های تولیدی در حضور نیروگاه های بادی از نقطه نظر قابلیت اطمینان"، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران. ۱۳۸۷; ۵ (۱) :۴۲-۴۹

[6]A. K. David, "Availability modelling of stochastic power sources," Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings C, vol. 129, pp. 239-248, 1982.

[7]M. A. Khallat and S. Rahman, "A Probabilistic Approach to Photovoltaic Generator Performance

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-16]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.15- No.3-Fall 2018

[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.3.6.8]

including PV and wind power," in Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE, 2008, pp. 1-5.
[21]B. In-Su and O. K. Jin, "Reliability Evaluation of Distributed Generation Based on Operation Mode," IEEE Transactions on, Power Systems, vol. 22, pp. 785-790, 2007.
[22]P. M. Costa and M. A. Matos, "Assessing the contribution of microgrids to the reliability of distribution networks," Electric Power Systems Research, vol. 79, pp. 382-389, 2// 2009.
[23]P. M. Costa and M. A. Matos, "Reliability of distribution networks with microgrids," in Power Tech, 2005 IEEE Russia, 2005, pp. 1-7.
[24]W. Shouxiang, L. Zhixin, X. Qun, and L. Zuyi, "Reliability analysis of distributed system with DGs," in Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 2011 4th International Conference on, 2011, pp. 14-17.
[25]Y. M. Atwa and E. F. El-Saadany, "Reliability Evaluation for Distribution System With Renewable Distributed Generation During Islanded Mode of Operation," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 24, pp. 572-581, 2009.
[26]Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. A. Salama, R. Seethapathy, M. Assam, and S. Conti, "Adequacy Evaluation of Distribution System Including Wind/Solar DG During Different Modes of Operation," Power Systems, IEEE Transactions on, vol. 26, pp. 1945-1952, 2011.
[27]R. N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel, and K. S. So, "A reliability test system for educational purposes-basic distribution system data and results," IEEE Transactions on, Power Systems, vol. 6, pp. 813-820, 1991.
[28]R. Billinton, S. Kumar, N. Chowdhury, K. Chu, K. Debnath, L. Goel, et al., "A reliability test system for educational purposes-basic data," IEEE Transactions on, Power Systems, vol. 4, pp. 1238-1244, 1989.
[29]R. Allan, Reliability evaluation of power systems: Springer Science & Business Media, 2013.
[30]H. L. Willis, Power Distribution Planning Reference Book. New York: Marcel Dekker Inc, 1997.
[31]R. Billinton and R. N. Alan, Reliability Evaluation of Engineering Systems, 2nd Edition ed. New York: Plenum Press, 1992.
[32]L. Shaobo, H. Minxiao, F. Ruixiang, and H. Xiaodong, "Configuration of energy storage system for distribution network with high penetration of PV," in Renewable Power Generation (RPG 2011), IET Conference on, 2011, pp. 1-6.
[33]L. Junfang, Z. Buhan, W. Jianghong, M. Chengxiong, L. Yifang, W. Kai, et al., "Steady security risk assessment considering uncertainties of wind power and fault in smart grid," in Modelling, Identification and Control (ICMIC), The 2010 International Conference on, 2010, pp. 600-605.
Prediction," IEEE Transactions on, Energy Conversion, vol. EC-1, pp. 34-40, 1986.
[8]T. Sutoh, H. Suzuki, and Y. Sekine, "Economic Evaluation of a Residential Photovoltaic System Based on a Probability Model Using Actual Meteorological Data," Power Engineering Review, IEEE, vol. PER-7, pp. 27-27, 1987.
[9]P. Giorsetto and K. F. Utsurogi, "Development of a New Procedure for Reliability Modeling of Wind Turbine Generators," IEEE Transactions on, Power Apparatus and Systems, vol. PAS-102, pp. 134-143, 1983.
[10]W. Xifan, D. Hui-Zhu, and R. J. Thomas, "Reliability Modeling of Large Wind Farms and Associateed Electric Utility Interface Systems," IEEE Transactions on, Power Apparatus and Systems, vol. PAS-103, pp. 569-575, 1984.
[11]R. Karki, H. Po, and R. Billinton, "A simplified wind power generation model for reliability evaluation," IEEE Transactions on, Energy Conversion, vol. 21, pp. 533-540, 2006.
[12]R. Billinton and W. Peng, "Teaching distribution system reliability evaluation using Monte Carlo simulation," IEEE Transactions on, Power Systems, vol. 14, pp. 397-403, 1999.
[13]B. In-Su and O. K. Jin, "Reliability Evaluation of Customers in a Microgrid," IEEE Transactions on, Power Systems, vol. 23, pp. 1416-1422, 2008.
[14]H. Liang, J. Su, and S. Liu, "Reliability evaluation of distribution system containing microgrid," in Electricity Distribution (CICED), 2010 China International Conference on, 2010, pp. 1-7.
[15]A. A. Chowdhury, S. K. Agarwal, and D. O. Koval, "Reliability modeling of distributed generation in conventional distribution systems planning and analysis," in Industry Applications Conference, 2002. 37th IAS Annual Meeting. Conference Record of the, 2002, pp. 1089-1094 vol.2.
[16]Y. Sun, M. H. J. Bollen, and G. W. Ault, "Probabilistic Reliability Evaluation for Distribution Systems with DER and Microgrids," in Probabilistic Methods Applied to Power Systems, 2006. PMAPS 2006. International Conference on, 2006, pp. 1-8.
[17]M. H. J. Bollen, Y. Sun, and G. W. Ault, "Reliability of distribution networks with DER including intentional islanding," in Future Power Systems, 2005 International Conference on, 2005, pp. 6 pp.-6.
[18]B. In-Su, O. K. Jin, K. Jae-Chul, and C. Singh, "Optimal operating strategy for distributed generation considering hourly reliability worth," IEEE Transactions on, Power Systems, vol. 19, pp. 287-292, 2004.
[19]Y. G. Hegazy, M. M. A. Salama, and A. Y. Chikhani, "Adequacy assessment of distributed generation systems using Monte Carlo Simulation," IEEE Transactions on, Power Systems, vol. 18, pp. 48-52, 2003.
[20]R. Yokoyama, T. Niimura, and N. Saito, "Modeling and evaluation of supply reliability of microgrids

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.3.6.8]

[34]L. Xu, S. Islam, A. A. Chowdhury, and D. O. Koval, "Reliability evaluation of a wind-diesel-battery hybrid power system," in Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 2008. ICPS 2008. IEEE/IAS, 2008, pp. 1-8.
[35]A. A. Alkuhayli, S. Raghavan, and B. H. Chowdhury, "Reliability evaluation of distribution systems containing renewable distributed generations," in North American Power Symposium (NAPS), 2012, 2012, pp. 1-6.
[36]http://www.puc.texas.gov/.
[37]T.-Y. Chen and C.-H. Li, "Determining objective weights with intuitionistic fuzzy entropy measures: A comparative analysis," Inf. Sci., vol. 180, pp. 4207-4222, 2010.
[38]R. Billinton and W. Peng, "A generalized method for distribution system reliability evaluation," in WESCANEX 95. Communications, Power, and Computing. Conference Proceedings., IEEE, 1995, pp. 349-354.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1397.15.3.6.8]