

کاربرد الگوریتم ژنتیک در ارزیابی شاخص‌های قابلیت اعتماد سیستم قدرت ترکیبی

علی سعیدیان استادیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید چمران اهواز
محمود جورابیان دانشیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید چمران اهواز
شهین حویس دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

این مقاله با ارائه یک روش جدید به ارزیابی و تهیه شاخص‌های قابلیت اعتماد سیستم قدرت ترکیبی با استفاده از روش تحلیلی و الگوریتم ژنتیک می‌پردازد. در روش پیشنهادی، الگوریتم ژنتیک به‌طور هوشمندانه‌ای فضای حالت وسیعی از سیستم قدرت ترکیبی را برای یافتن حالت‌هایی با احتمال خرابی بیشتر جستجو می‌کند که منجر به خرابی سیستم و خروج آن از حالت طبیعی می‌گردد. از مدل پخش بار بهینه دینامیکی برای تحلیل حالت‌های نمونه‌برداری شده استفاده شده است. روش پیشنهادی بر روی سیستم‌های تست ۶ شینه RBTS و ۲۴ شینه قابلیت اعتماد RTS-96 اجرا و نتایج خروجی برنامه با سایر روش‌های مرسوم مقایسه شده است، در نهایت مجموعه کاملی از شاخص‌های کفایت سیستم قدرت ترکیبی و شاخص‌های باسبار محاسبه شده است. نتایج به‌دست آمده قابلیت بسیار بالای روش پیشنهادی در این مقاله را نشان می‌دهد.
کلمات کلیدی: شاخص‌های قابلیت اعتماد، سیستم‌های قدرت ترکیبی، الگوریتم ژنتیک.

Application of Genetic Algorithms For Composite Power System Reliability Evaluation

A. Saidian, M. Joorabian and Sh. Hoveyes

Faculty of Electrical Engineering, Shahid Chamran University

Abstract

This paper presents a new analytical method based on Genetic Algorithms (GA) for assessing the composite power system annualized reliability indices. In this proposed method, GA intelligently searches the numerous state spaces of a power system to find the most probable states contributing to system failure. A dynamic optimization load flow model is used for evaluation of sampled states. The proposed method is applied to a 6 bus RBTS and 24 bus RTS-96 reliability test system and the obtained result of program is compared with other conventional methods. Eventually the full set of composite system adequacy indices and load bus indices is calculated. The obtained results clearly demonstrate the capability of the proposed technique.

Key words: Reliability indices, Composite power system, Genetic algorithms.

۱- مقدمه

سیستم‌های ترکیبی (تولید و انتقال) [۱۱] این الگوریتم به عنوان ابزار جستجوی قدرتمندی در کنار مطالعات تحقیقاتی اخیر معرفی شده است که برای نمونه می‌توان به نمایش قیود سیستم و مقادیر بار به‌صورت توابع عضویت فازی [۱۸]، در نظر گرفتن حالت‌های چند-گانه واحدهای تولیدی [۱۹] و نمایش منحنی زمانی بار به‌صورت خوشه‌ای، با استفاده از تکنیک خوشه‌بندی میانگین K^(۳) [۱۰] اشاره کرد که با دقت بالایی شاخص‌های سیستم را ارزیابی نموده‌اند.

در تمامی روش‌های فوق‌الذکر، از مدل پخش بار DC جهت ارزیابی فضای حالت سیستم استفاده شده است و جهت اصلاح وضعیت شبکه پس از بروز حالت منجر به خرابی شبکه تنها عملکرد اصلاحی بارزدایی صورت می‌گیرد.

هدف از این مقاله ارائه روش جدید در برآورد و تهیه شاخص‌های یکساله قابلیت اعتماد سیستم ترکیبی می‌باشد که بر اساس روش تحلیلی و به‌کارگیری روش کمکی - نمونه‌برداری توسط الگوریتم ژنتیک میسر است.

مدل پخش بار استفاده شده، AC نیوتن-رافسون می‌باشد و در صورت نقض قیود سیستم در زمان بروز خطا، عملکردهای اصلاحی نظیر تنظیم تولید MW، MVAR، تنظیم ولتاژ شین ژنراتور، تنظیم تپ ترانسفورماتور و نهایتاً در صورتیکه هیچکدام از این عملکردها باعث بهبود وضعیت سیستم به‌حالت نرمال و حفظ قیود سیستم نگردد، از کاستن بار قابل قطع استفاده شده است. اجرا و تحقق الگوریتم پیشنهادی با استفاده از دو سیستم آزمایش ۶ و ۲۴ شینه قابلیت اعتماد صورت گرفته که نتایج خروجی این الگوریتم با سایر روش‌های مرسوم مقایسه شده است.

۲- روش به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک

روش پیشنهادی می‌تواند به دو بخش عمده تقسیم شود. ابتدا الگوریتم ژنتیک به‌طور هوشمندانه‌ای حالت‌های خرابی را از میان تابع برازش و با استفاده از مدول برنامه‌نویسی دینامیکی جستجو می‌کند که آیا کمبود بار برای هر حالت نمونه‌برداری شده مورد نیاز است یا خیر؟

پس از آن داده‌های حالت نمونه‌برداری شده در آرایه حالت‌ها ذخیره می‌گردند. پس از اینکه روند جستجو متوقف شد، مرحله

سیستم‌های قدرت الکتریکی که از جمله پیچیده‌ترین و بزرگ‌ترین سیستم‌های موجود در دنیا هستند، ترکیبی از سه ناحیه تولید، انتقال و توزیع می‌باشند. در این میان، وظیفه سیستم قدرت ترکیبی که تلفیقی از سیستم‌های تولید و انتقال می‌باشد، تولید انرژی الکتریکی در منابع تولیدی و پس از آن جابه‌جایی انرژی به نقاط بار عمده می‌باشد که یکی از جنبه‌های بررسی قابلیت اعتماد این سیستم تخمین توانایی آن در به انجام رساندن این وظیفه می‌باشد. تخمین این توانایی توسط معیارها و شاخص^(۱) های متعددی (سالانه^(۲) و یکساله^(۳)) صورت می‌گیرد که هر کدام از آنها ویژگی خاصی از سیستم را محک می‌زند.

معیارهای مرسوم که در طراحی و بهره‌برداری سیستم‌های ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرند، اغلب معیارهای احتمالی و قطعی هستند. با استفاده از معیار قطعی شناسایی و بررسی اثرات تمام حالت‌هایی که ممکن است سیستم را دچار اغتشاش و خروج از حالت پایدار سازند ممکن نیست. علاوه بر اینکه حذف تجهیزات متفاوت از سیستم معمولاً شاخص‌های قابلیت اعتماد متفاوتی را ارائه خواهند کرد [۱].

بنابراین با استفاده از معیارهای قطعی، تخمین شاخص‌های قابلیت اعتماد و تعیین بهترین سطح ریسک امکان‌پذیر نمی‌باشد در حالیکه استفاده از معیارهای احتمالی برآوردهای عملی‌تر و واقعی‌تری از سیستم را مهیا می‌کنند. در تهیه شاخص‌های قابلیت اعتماد سیستم ترکیبی با استفاده از معیار احتمالی، اغلب از دو روش عمده تحلیلی [۲-۵] و شبیه‌سازی مونت کارلو [۶-۸] استفاده می‌شود که هر کدام از این روش‌ها از ویژگی‌ها، مزایا و معایب خاص خود برخوردار می‌باشند.

مشکل اساسی استفاده از روش‌های تحلیلی، تعقیب تعداد بسیار زیادی از حالت‌های سیستم است. بنابراین از روش‌های کمکی می‌توان برای کاهش تعداد حالت‌های فضای حالت بزرگ استفاده کرد.

این امر با طبقه‌بندی و تحلیل حالت حاصل می‌شود، تا جائیکه سطح مشخصی از خروج اجزای شبکه حاصل گردد. پس از به‌کارگیری موفقیت‌آمیز الگوریتم ژنتیک در محاسبه شاخص‌های کفایت قابلیت اعتماد سیستم‌های تولید [۹] و

۱- شاخص‌های قابلیت اعتماد در بخش نمادها معرفی شده‌اند

2- Annual

3- Annualized

4- K-means clustering

که در آن جهت اصلاح وضعیت شبکه پس از بروز وقفه، از عملکردهای اصلاحی نظیر تنظیم تولید MW، MVAR، تنظیم ولتاژ شین ژنراتور، تنظیم تپ ترانسفورماتور و نهایتاً در صورتیکه هیچکدام از این عملکردها باعث بهبود وضعیت سیستم به حالت نرمال نگردد، از کاستی بار استفاده خواهد شد. در این صورت مقدار بار کاسته شده جهت تأمین قیود سیستم قدرت محاسبه می‌گردد. مدل پخش بار بهینه بسته به نوع پخش بار مورد استفاده متفاوت است، در صورتیکه پخش بار DC باشد، مدل برنامه‌نویسی خطی فراخوانی می‌شود [۱۱] و در صورتیکه پخش بار AC باشد مدل برنامه‌نویسی دینامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۹].

اگر هیچ کمبود باری وجود نداشته باشد کرموزوم حالت موفق را نشان می‌دهد در غیر اینصورت، حالت خرابی را نشان خواهد داد. مقدار برازش برای هر کرموزوم، مقدار نهایی پس از اعمال مقیاس‌بندی خطی از مقدار تابع تحلیل می‌باشد. مقیاس‌بندی تابع تحلیل موجب بالا رفتن میزان کارایی عملکرد الگوریتم ژنتیک می‌گردد. پس از محاسبه مقدار برازش تمام کرموزوم‌ها در نسل فعلی، از عملگرهای الگوریتم نظیر انتخاب اسکما، جابجایی و جهش استفاده می‌شود. تمام داده‌های محاسبه شده در آرایه حالت‌ها ذخیره شده و روند تولید نسل جدید و تحلیل تمامی حالت‌ها تا زمانیکه معیار توقف برآورده گردد، ادامه دارد. مزیت استفاده از الگوریتم ژنتیک، قطع فضای بزرگ حالت‌ها و جستجوی حالت‌های منجر به خرابی سیستم است. مرحله بعدی، مشتمل بر محاسبه مجموعه کاملی از شاخص‌های کفایت یکساله برای تمام سیستم و هر باسبار می‌باشد. این امر با استفاده از داده‌های ذخیره شده در آرایه حالت‌ها امکان‌پذیر است.

۳- ساختار الگوریتمی برنامه

الگوریتم ژنتیک حالت‌های خرابی را جستجو کرده و حالت‌های نمونه‌برداری شده را با تمام داده‌های مرتبط با آن مطابق با فلوجارت نمونه‌برداری شکل (۱)، در آرایه حالت ذخیره می‌کند. این روند می‌تواند در مراحل بعدی خلاصه شود:
(۱) هر کرموزوم نشان دهنده حالت سیستم می‌باشد، ژن‌های باینری ng اول، واحدهای نیروگاهی و ژنهای باینری nt بعدی، خطوط انتقال را نشان می‌دهند.

دوم با استفاده از تمام داده‌های حالت ذخیره شده شروع می‌شود که شاخص‌های یکساله را برای تمام سیستم و هر باسبار محاسبه می‌کند. برای هر واحد تولیدی نیروگاه و خط انتقال دو حالت فرض می‌شود: حالت موفق عملکرد (فعال) و حالت خرابی (غیر فعال).

احتمال اینکه هر واحد نیروگاهی در حالت خرابی باشد برابر با نرخ خروج اجباری^(۱) آن یعنی FOR است. احتمال خرابی هر خط انتقال λ_i ام، برابر PT_i است که توسط نرخ خرابی آن یعنی λ_i و نرخ تعمیر μ_i طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$PT_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad (1)$$

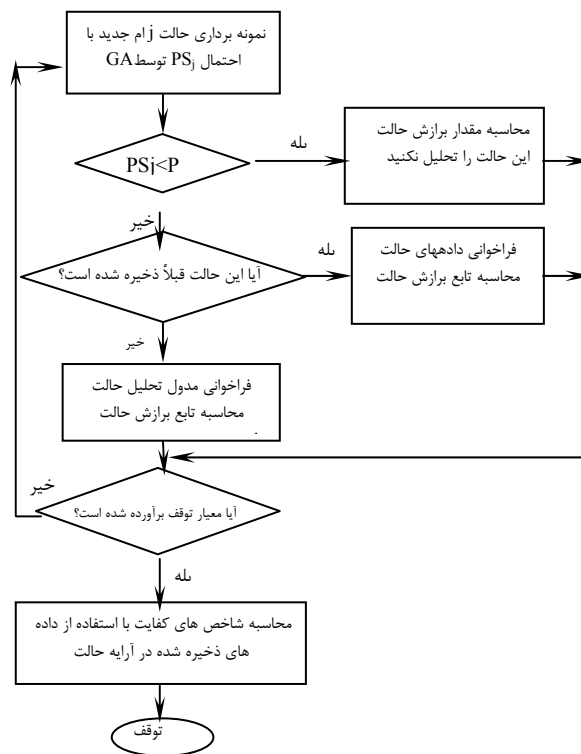
تعداد کل حالت‌ها برای تمام ترکیبات ممکن واحدهای تولیدی و خطوط انتقال نصب شده برابر با N_{state} می‌باشد.

$$N_{state} = 2^{ng+nt} \quad (2)$$

به‌طوریکه ng تعداد کل واحدهای تولیدی و nt تعداد کل خطوط انتقال در سیستم ترکیبی است. در اینجا از الگوریتم ژنتیک برای جستجوی حالت‌های خرابی و ذخیره آن حالت‌ها در آرایه حالت‌ها استفاده می‌شود که این امر با ایجاد کرموزوم‌هایی که هر کدام نشان دهنده حالت سیستم می‌باشد، صورت می‌گیرد. هر کرموزوم شامل ژنهای باینری است و هر ژن نیز نمایانگر جزئی از سیستم است. ژن‌های ng در کرموزوم بیانگر واحدهای تولیدی و nt ژن باقیمانده نشان دهنده خطوط انتقال می‌باشند.

مقدار صفر هر ژن بیانگر حالت خرابی (غیر فعال) و مقدار یک آن، بیانگر حالت موفق عملکرد (فعال) آن جزء شبکه می‌باشد.

هر کرموزوم توسط تابع تحلیل، قابل ارزیابی و تحلیل است. انتخاب مناسب برای تابع تحلیل می‌تواند هوش مورد نیاز الگوریتم ژنتیک را در نمونه‌برداری حالت‌ها فراهم کند. ساده‌ترین تابع تحلیلی که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، تابع تحلیلی است که در صورتیکه حالت، حالت موفق می‌باشد به صفر و اگر حالت خرابی سیستم باشد، احتمال آن حالت را بیان می‌کند؛ در این صورت تابع تحلیل، مدل پخش بار بهینه را فراخوانی می‌کند



شکل ۱- فلوجارت نمونه برداری توسط الگوریتم ژنتیک (GA)

۵) اگر احتمال حالت بالاتر از مقدار آستانه عدد باینری نشان دهنده باشد، این حالت به عدد اعشاری معادل آن تبدیل می‌گردد. جستجو در آرایه حالتها انجام می‌شود تا تعیین گردد که آیا این حالت، قبلاً نیز ذخیره شده است. اگر عدد اعشاری معادل، یافت نشود، بدین معنی است که این حالت قبلاً بررسی و ذخیره شده است. بنابراین مقدار تابع تحلیل آن بازیابی شده و الگوریتم به مرحله ۹ صعود خواهد کرد؛ در غیر اینصورت، مرحله بعدی ادامه خواهد یافت.

۶) مدول برنامه‌نویسی بهینه (خطی / دینامیکی) برای محاسبه مقدار کمبود بار و تحلیل حالت جدید، فراخوانی می‌شود. مقدار کمبود بار، جهت حفظ قیود سیستم، برای تمام سیستم و سپس هر باسبار، به‌دست آمده و در آرایه حالت ذخیره می‌شود. عدد اعشاری معادل حالت نیز در آرایه حالت ذخیره می‌شود تا از اضافه شدن مجدد حالت تکراری به آرایه حالتها جلوگیری شود.

۷) فرکانس حالت با استفاده از روش احتمال شرطی، محاسبه شده و مقدار نهائی نیز در آرایه حالتها ذخیره می‌شود.

$$FS_j = \sum_{i=1}^{ng+nt} [(1-b_h) \cdot \mu_i - b_l \cdot \lambda_i] \quad (4)$$

۲) جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی تولید می‌شود. برای هر بیت در کروموزوم، عدد باینری تصادفی صفر یا یک انتخاب می‌شود، یعنی $ng+nt$ عدد باینری تصادفی برای هر کروموزوم، این روند برای تمامی کروموزوم‌های جمعیت تکرار می‌شود.

۳) احتمال حالت PS_j برای هر کروموزوم j به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$PS_j = \prod_{i=1}^{ng} G_i \cdot \prod_{i=1}^{nt} T_i \quad (3)$$

برای هر کدام از واحدهای نیروگاهی، اگر مقدار ژن برابر یک باشد که بیانگر حالت موفق آن جزء است $G_i=1-FOR_i$ و اگر مقدار ژن برابر صفر باشد که بیانگر حالت خرابی آن جزء است، $G_i=FOR_i$ خواهد بود. برای هر کدام از خطوط انتقال نیز، اگر مقدار ژن برابر یک باشد، $T_i=1-PT_i$ و اگر مقدار ژن برابر صفر باشد، $T_i=PT_i$ خواهد بود.

۴) مقدار احتمال آستانه وابسته به‌دقت مورد نیاز است. اگر احتمال حالت محاسبه شده در مرحله سوم کمتر از مقدار آستانه باشد، از این حالت صرف‌نظر کرده و مدول برنامه‌نویسی فراخوانی نمی‌شود.

خرابی بالا و شدیدی بوده و در بیشتر موارد، سبب کمبود بار در سیستم می‌شوند.
 ۱۰) برازش هر کروموزوم z با مقیاس‌بندی خطی تابع تحلیل، محاسبه می‌شود:

$$Fitness_j = A.Eval_j + C \quad (4)$$

در رابطه فوق A و C اعداد ثابت و معینی می‌باشند. با اعمال مقیاس‌بندی خطی به تابع تحلیل، اختلاف قابل قبولی بین مقادیر برازش کروموزوم‌های متفاوت ایجاد می‌شود که باعث بالا رفتن کارایی روند جستجو خواهد شد.

۱۱) مراحل قبلی را تکرار کرده تا مقدار برازش برای تمام کروموزومها در جمعیت فعلی محاسبه شود.

۱۲) عملگرهای الگوریتم ژنتیک برای تولید نسل جدید اعمال می‌گردند. این عملگرها شامل انتخاب، جابه‌جایی و جهش هستند. انتخاب مناسب هر کدام از این عملگرها کارایی جستجوی الگوریتم را بالا می‌برد.

۱۳) روند تحلیل حالت از یک نسل به نسل بعدی ادامه می‌یابد تا زمانی‌که معیار مشخص توقف حاصل گردد.

۱۴) از داده‌های ذخیره شده در آرایه حالت‌ها برای محاسبه مجموعه کاملی از شاخص‌های سیستم، برای تمام سیستم و هر باسبار، استفاده می‌شود.

۴- معیار توقف

از هر کدام از سه معیار توقف ذیل می‌توان برای توقف الگوریتم استفاده کرد:

۱) توقف الگوریتم پس از حصول تعداد مشخصی از نسل‌های تولید شده است. اگر از عدد کوچکی استفاده شود منجر به حصول نتایج غلط و نمونه‌برداری حالت‌های نامناسب خواهد شد.
 ۲) توقف در زمانی که تعداد حالت‌های جدیدی که به آرایه حالت‌ها اضافه می‌گردد، از عدد مشخصی در تعداد معینی از نسل‌های الگوریتم، کمتر باشد.

۳) تنظیم مقدار احتمال از دست رفتن بار LOLP برای هر حالت خرابی جدید. در این صورت الگوریتم زمانی متوقف می‌شود که تغییر در LOLP از مقدار مشخصی در تعداد معینی از نسل‌های الگوریتم، کمتر باشد.

۵- مدول تحلیل حالت

تحلیل حالت مرحله بسیار مهمی در ارزیابی قابلیت اعتماد

به‌طوریکه، FS_j فرکانس حالت برای کروموزوم z و b_i مقدار باینری از عدد ژن می‌باشد، i نشان دهنده واحد نیروگاهی یا خط انتقال است.

۸) توان مورد انتظار تغذیه نشده، $EPNS$ برای حالت جدید محاسبه شده و نتیجه در آرایه حالتها ذخیره می‌شود.

$$EPNS_j = LC_j . PS \quad (5)$$

LC_j مقدار کمبود بار برای تمام سیستم، محاسبه شده در مرحله ۶ می‌باشد.

۹) در این مرحله، کروموزوم تحلیل می‌شود که از دو تابع تحلیل زیر می‌توان استفاده کرد:

$$Eval_j = \begin{cases} PS_j & j \\ PS_j . \alpha & j \\ 0 & . \end{cases} \quad (6)$$

تابع فوق، احتمال خرابی حالت را در نظر می‌گیرد. در تعریف این تابع، کروموزوم جدید، بدین معنی است که این حالت قبلاً در آرایه حالت ذخیره نشده است. کروموزوم قدیم، بدین معنی است که این حالت قبلاً در آرایه حالت ذخیره شده است و α عدد کوچکی مانند 10^{-4} است که سبب می‌شود حالت‌های موفق با احتمال بسیار کمتری در نسل بعدی وارد شوند. تابع تحلیل دوم با استفاده از توان مورد انتظار تغذیه نشده، میزان شدت حالت خرابی را در نظر می‌گیرد.

$$Eval_j = \begin{cases} EPNS_j + \beta & j \\ \beta & . \end{cases} \quad (7)$$

به‌طوریکه، β عدد بسیار کوچکی مانند 10^{-15} است که از صفرشدن تابع تحلیل جلوگیری کند.

تابع تحلیل اول سبب می‌شود تا الگوریتم ژنتیک حالت‌های با احتمال خرابی بیشتر را، جستجو کند در حالیکه تابع تحلیل دوم، منجر به جستجوی حالت‌هایی می‌شود که دارای احتمال

$$\begin{cases} PG_i - \sum_{p=1}^3 X_{ip} = \sum_{j=2}^n B_{ij} \cdot \theta_j & \forall i=1,2,\dots,n \\ -B_{ij} \cdot (\theta_j - \theta_i) \leq PT_k & \forall k=1,2,\dots,n_i \\ -B_{ji} \cdot (\theta_j - \theta_i) \leq PT_k & \forall k=1,2,\dots,n_i \\ 0 \leq X_{ip} \leq C_{ip} \cdot PD_i & \forall p=1,2,\dots,10, \forall i=1,2,\dots,n_i \\ PG_{i \min} \leq PG_i \leq PG_{i \max} & \forall i=1,2,\dots,nv \end{cases} \quad (10)$$

به طوریکه:

n : تعداد کل شین‌های سیستم

nt : تعداد کل شین‌های خطوط انتقال سیستم

nl : تعداد کل شین‌هایی که دارای بار نصب شده می‌باشند.

nv : تعداد کل شین‌هایی که دارای واحد نیروگاهی نصب شده می‌باشند.

B_{ij} : عنصر سطر i ام و ستون j ام در ماتریس سوسپتانس سیستم

θ_i : زاویه ولتاژ در شین i ام (فرض می‌شود شین ۱، شین مرجع با $\theta_1 = 0$ است).

PD_i : درخواست حداکثر بار سالیانه در شین i ام

X_{ip} : مقدار بخش P از بار نصب شده در شین i ام

W_{ip} : وزن مرتبط با بخش P از بار نصب شده در شین i ام، این وزن‌ها طوری انتخاب می‌شوند که:

$$W_{1i} \leq W_{2i} \leq W_{3i} \leq \dots \leq W_{10i} \quad (11)$$

C_{ip} : درصد بخش P از بار نصب شده در شین i ام به کل تقاضای بار در همان شین

PG_i : تولید توان حقیقی در شین i ام

$PG_{i \max}$: حداکثر تولید در دسترس در شین i ام

$PG_{i \min}$: حداقل تولید در دسترس در شین i ام

مقدار کل کمبود بار LC برابر است با:

$$LC_S = \sum_{i=1}^{nl} PD_i - \sum_{i=1}^{nl} \sum_{p=1}^3 X_{ip} \quad (12)$$

در این مقاله و با استفاده از تکنیک پیشنهادی شاخص‌های کفایت یکساله برای تمام سیستم و برای هر شین، با استفاده از داده‌های ذخیره شده در آرایه حالت محاسبه می‌شوند، این شاخص‌ها عبارتند از: احتمال از دست رفتن بار (LOLP)، احتمال از دست رفتن بار مورد انتظار (LOLE)، توان مورد

سیستم ترکیبی است. در طول این مرحله، حالت سیستم برای قضاوت درباره اینکه حالت فعلی سیستم، حالت خرابی یا موفق عملکرد است، ارزیابی می‌شود. اگر این حالت، حالت خرابی باشد، مقدار کمبود بار برای تمام سیستم و بخشی از هر باسبار تعیین می‌گردد. از این مقادیر برای محاسبه میزان مشارکت این حالت در شاخص‌های کفایت تمام سیستم و شین‌های بار استفاده می‌شود. بر اساس برنامه‌نویسی صورت گرفته، هر حالت با استفاده از مدول برنامه‌نویسی بهینه دینامیکی و بر اساس معادلات پخش بار AC تحلیل می‌گردد. اجزاء سوسپتانس سیستم قدرت در ماتریس B و با توجه به تعداد خروج خطوط انتقال تصحیح می‌گردد.

مقدار تولید توان حقیقی در دسترس در هر شین $P.V$ با توجه به وضعیت واحدهای نیروگاهی نصب شده در هر شین، تنظیم می‌شود.

موضوع این مسئله، بهینه‌سازی حداقل کردن کمبود کل بار برای تمام سیستم است که معادل حداکثر مقدار بار در هر باسبار است. این موضوع با توجه به قیود زیر، بررسی می‌شود:

(۱) تعادل توان حقیقی در هر باسبار

(۲) حدود پخش توان حقیقی در هر خط انتقال

(۳) مقدار حداکثر کاهش بار در هر باسبار

(۴) حداکثر و حداقل توان حقیقی در دسترس در هر شین $P.V$

(۵) حفظ قیود ولتاژی تمام شین‌ها

در زمان کاستی بار، اهمیت بارها با توجه به نوع مصرف ام از صنعتی و یا غیر صنعتی در نظر گرفته شده است. علاوه بر آن هر بار به ده بخش تقسیم می‌شود که مانند ده متغیر در تابع هدف عمل می‌کنند. وزن‌ها برای هر بخش در تابع هدف، با توجه به اهمیت مربوطه برای هر شین در مقایسه با شین‌های باقیمانده، داده شده‌اند. وزن‌ها طوری تنظیم شده‌اند که بخش اول هر بار، دارای حداقل اهمیت و بخش دهم دارای بیشترین اهمیت باشد. با این شیوه، بار از بخش نخست و در هر بار با توجه به اهمیت آنها، سپس از بخش دوم و نهایتاً تا بخش دهم به‌طور متوالی (در صورتیکه بارزدایی سبب خروج پارامترها از قیود مربوطه نگردد) کاسته خواهد شد.

مسئله حداکثرسازی به صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$Max \sum_{i=1}^{nl} \sum_{p=1}^{10} W_{ip} \cdot X_{ip} \quad (9)$$

۶- بررسی و تحلیل نتایج

با استفاده از برنامه‌نویسی صورت گرفته توسط نرم‌افزار MATLAB و پیرایش ۶/۵، روش پیشنهادی بر روی دو سیستم آزمایشی قابلیت اعتماد ۶ شینه و ۲۴ شینه اجرا و شاخص‌های یکساله سیستم محاسبه شده با نتایج روش‌های مختلف مقایسه شده‌اند:

الف) بررسی نتایج سیستم ۶ شینه در ابتدا از سیستم آزمایشی ساده RBTS^(۱) استفاده شده است. این سیستم شامل ۲ شین ژنراتوری PV، ۴ باسبار PQ، ۹ خط انتقال و ۱۱ واحد نیروگاهی است [۱۳].

در جدول (۱) شاخص‌های کفایت یکساله محاسبه شده توسط روش نمونه‌برداری الگوریتم ژنتیک با استفاده از پخش بار AC [۱۹]، نمونه‌برداری الگوریتم ژنتیک با پخش بار DC [۱۱] و تکنیک‌های متفاوت مونت کارلو [۱۲] مقایسه شده است.

از مقایسه نتایج جدول (۱) دیده می‌شود که روش معرفی شده، نتایج مشابهی با سایر تکنیک‌ها ارائه کرده است که در این راستا، بهترین مطابقت با نمونه‌برداری الگوریتم ژنتیک با پخش بار DC است. تفاوت‌های ناچیز موجود بین نتایج، بدلیل این حقیقت است که تمامی این روش‌ها، روش‌های تقریبی هستند.

با توجه به اینکه در روش پیشنهادی در زمان بروز خطا در شبکه جهت بازیابی سیستم از اقدامات اصلاحی متنوعی استفاده می‌شود و در آخرین مرحله از میزان بار قابل قطع کاسته می‌شود، مقدار شاخص‌های محاسبه شده فوق از مقادیر روش ستون دوم (از پخش بار DC و کاستی بار قابل قطع استفاده شده است) کمتر می‌باشد ولی در مجموع مقدار شاخص‌ها نسبت به سایر روشها به این روش نزدیکتر می‌باشند.

در مطالعات اخیر، محققان با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک و استفاده از روشهای جدید نظیر نمایش قیود سیستم و مقادیر بار به‌صورت توابع عضویت فازی و در نظر گرفتن حالت‌های چند-گانه واحدهای تولیدی [۱۷-۱۸]، برآورهای دقیق‌تری از شاخص‌های قابلیت اعتماد را ارائه نموده‌اند که جهت ارزیابی دقت روش پیشنهادی در این مقاله، مقایسه‌ای میان دو شاخص کفایت یکساله LOLP و EENS این روشها با روشهای مذکور در جدول (۱) صورت گرفته است.

انتظار تغذیه نشده (EPNS)، انرژی مورد انتظار تغذیه نشده (EENS)، فرکانس از دست رفتن بار (LOLF)، طول مدت از دست رفتن بار (LOLD) و تعدادی از شاخص‌های IEEE که در جداول (۱) و (۵) ارائه شده‌اند [۱ و ۱۰].

برای محاسبه شاخص‌های فوق، تنها حالت‌های خرابی ذخیره شده در آرایه حالت در نظر گرفته شده‌اند و از سایر حالت‌های موفق سیستم چشم‌پوشی شده است.

در صورتیکه تعداد کل حالت‌های خرابی ذخیره شده برابر nf باشد، شاخص‌های کفایت برای تمام سیستم به‌صورت زیر قابل محاسبه‌اند:

$$LOLP = \sum_{j=1}^{nf} PS_j \quad (13)$$

$$LOLE = LOLP \times 8760 \quad (14)$$

$$LOLF = \sum_{j=1}^{nf} FS_j \quad (15)$$

$$EPNS = \sum_{j=1}^{nf} EPNS_j \quad (16)$$

$$EENS = EPNS \times 8760 \quad (17)$$

$$LOLD = \frac{LOLE}{LOLF} \quad (18)$$

پارامترهای ورودی الگوریتم ژنتیک عبارتند از:

$$POP_SIZE=40 \text{ و } P_C=0/7; P_m=0/05$$

معیار توقف برنامه، تعداد کل نسلهای الگوریتم ژنتیک است که برابر ۱۰۰ نسل در نظر گرفته شده‌اند. از مقیاس‌بندی خطی، انتخاب تورنامنت، جابه‌جایی تک نقطه، جهش یکنواخت و تابع تحلیل اول استفاده شده است.

در مرحله آخر، شاخص‌های قابلیت اعتماد هر کدام از سیستم‌های آزمایشی با استفاده از مقدار برازش نهایی محاسبه شده‌اند. در محاسبه شاخص‌ها تعداد کل ساعتها در یک سال به‌جای ۸۷۶۰، تعداد ۸۷۳۶ در نظر گرفته شده‌اند، به‌دلیل اینکه این تعداد از ساعتها در منحنی بار سیستم‌های آزمایشی آمده است.

در برنامه‌نویسی صورت گرفته، در صورتیکه پاسخ همگرا شود و یا تعداد مراحل تکرار الگوریتم به‌مقدار تعیین شده برسد، در هر مورد لیستی از پاسخ‌های انتخابی مشتمل بر محاسبات پخش بار، پروفیل زاویه و دامنه ولتاژ شین‌ها، کرموزوم برنده و شاخص‌های قابلیت اعتماد ارائه می‌گردد.

جدول ۱- مقایسه شاخص‌های کفایت یکساله میان روش نمونه‌برداری الگوریتم ژنتیک با استفاده از پخش بار AC و سایر روشهای مذکور

در جدول

شاخصهای کفایت	روش پیشنهادی پخش بار AC	نمونه‌برداری پخش GA بار DC	نمونه‌برداری مونت کارلو			اختلاف % ستون ۱ و ۲	اختلاف % ستون ۱ و ۳	اختلاف % ستون ۱ و ۴	اختلاف % ستون ۱ و ۵
			متوالی	انتقال حالت	حالت				
LOLP	۰/۰۰۹۲۳۸	۰/۰۰۹۷۵۳	۰/۰۰۹۸۹	۰/۰۰۹۸۵	۰/۰۱۰۱	۵/۲۸۰۴	۶/۵۹۲۵	۶/۲۱۳۲	۸/۵۳۴۷
EENS	۱۰۴۲/۵۴	۱۰۴۷/۷۸	۱۰۸۱/۰۱	۱۰۹۱/۴۶	۱۰۸/۶۳	۰/۵۰۰۱	۳/۵۵۸۷	۴/۴۸۲۱	۸۹/۵۸۰۳
LOLF	۳/۸۷	۴/۱۵۰۹۷	۴/۱۳	۴/۱۴	۵/۲۱	۶/۷۴۷۰	۶/۲۹۵۴	۶/۵۲۱۷	۲۲۵/۷۱۹۸
LOLE	۸۲/۳	۸۵/۱۹۸	۸۶/۳۹۹	۸۶/۰۴۹۶	۸۸/۵۸	۳/۴۰۱۵	۴/۷۴۴۳	۴/۳۵۷۵	۷/۰۸۹۶
PNS	۰/۱۰۴۵۳۶	۰/۱۱۹۹۳۸	۰/۱۲۳۷۴	۰/۱۲۴۹۴	۰/۱۲۳۹	۱۲/۸۴۰۸	۱۵/۵۲۴۵	۱۶/۳۳۵۸	۱۵/۶۳۳۶
LOLD	۱۹/۰۹۸	۲۰/۵۲۴۹	۲۰/۹۱۹۸	۲۰/۷۸۴۹	۱۷/۰۰۱	۶/۹۴۸۰	۸/۷۰۵۰	۸/۱۱۲۰	۱۰/۹۸۰۲
مجموع اختلاف	-	-	-	-	-	۳۵/۷۱۷۸	۴۵/۴۲۰۴	۴۶/۰۲۲	۱۵۷/۵۳

جدول ۲- مقایسه دو شاخص کفایت یکساله LOLP و EENS میان روش نمونه‌برداری الگوریتم ژنتیک با استفاده از پخش بار AC و

سایر روشهای مذکور در جدول

شاخصهای کفایت	روش پیشنهادی با پخش بار AC	نمونه‌برداری پخش GA بار DC	اختلاف % ستون ۱ و ۲	نمونه‌برداری انتقال حالت	اختلاف % ستون ۱ و ۴	نمونه‌برداری GA و فازی	اختلاف % ستون ۱ و ۶	نمونه‌برداری GA و حالت‌های چند-گانه	اختلاف % ستون ۱ و ۸
LOLP	۰/۰۰۹۲۳۸	۰/۰۰۹۷۵۳	۵/۲۸۰۴	۰/۰۰۹۸۹	۶/۵۹۲۵	۰/۰۰۹۶	۳/۸۷۵	۰/۰۰۸۱	۱۱/۵۷۱۸
EENS	۱۰۴۲/۵۴	۱۰۴۷/۷۸	۰/۵۰۰۱	۱۰۸۱/۰۱	۳/۵۵۸۷	۱۰۱۹/۷۵	۲/۱۸۶	۸۱۵/۰۸	۲۱/۸۱۷۹
مجموع اختلاف	-	-	۵/۷۸۰۵	-	۱۰/۱۵۱۲	-	۶/۰۶۱	-	۳۳/۳۸۹۷

نصب شده در شین ۶ برابر ۱ لحاظ شده‌اند. بزرگترین ضریب وزنی ۱۵ است که مربوط به بخش دهم از بار نصب شده در شین ۲ می‌باشد.

جدول ۳- شاخصهای کفایت یکساله برای شین‌های بار، درجه

اهمیت از مهمترین تا کم اهمیت‌ترین شین برابری است با: ۲، ۳، ۴،

۵ و ۶.

شاخصهای کفایت	LOLP	EENS	LOLF	LOLD
شین ۲	۰/۰۰۰۲۲	۷/۳۷۳	۰/۱۲۰۴	۱۶/۶۱۶
شین ۳	۰/۰۰۲۳۸	۲۰۲/۱۳۳	۰/۹۸۴۵	۲۱/۱۳۷
شین ۴	۰/۰۰۲۶۲	۱۷۷/۸۴۷	۱/۱۱۴۵	۲۰/۵۶۸
شین ۵	۰/۰۰۸۶۱	۱۵۳/۵۴۷	۳/۱۵۳۷	۲۳/۸۶۱
شین ۶	۰/۰۰۹۷۵	۵۰۶/۷۰۷	۴/۱۵۰۹	۲۰/۵۲۶

مقایسه این روشها بیانگر مطابقت بسیار خوب این روش با روشهای مراجع [۱۱ و ۱۷] می‌باشد و پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده از تلفیق روش ارائه شده با روشهای فوق در مطالعات قابلیت اعتماد استفاده شود. شاخص‌های یکساله شین‌ها در جدول (۳) ارائه شده‌اند. این شاخص‌ها با تقسیم هر بار به ده بخش به‌دست آمده‌اند. حال کاستی بار در صورت نیاز، ابتدا از بخش اول تمام بارها و سپس از بخش دوم و نهایتاً از بخش دهم حاصل می‌شود. از ضرایب وزنی برای نشان دادن اهمیت هر بخش از بار استفاده می‌شود. بار نصب شده در شین ۲ به‌عنوان مهمترین بار و بار نصب شده در شین ۶ کم اهمیت‌ترین بار در نظر گرفته شده است. با این شیوه ضریب وزنی برای بخش اول بار نصب شده در شین ۲ برابر ۵ و ضریب وزنی برای بخش اول بار

دلیل عدم تطابق شاخصهای (BPACI، ADLC، EFLC) مربوط به نحوه محاسبه شاخص فرکانسی می‌باشد [۱۲]. امتیاز مهم روش نمونه‌برداری انتقال حالت مونت کارلو محاسبه مستقیم شاخص فرکانسی است [۱۲]، در حالیکه در روش هیبرید و روش ارائه شده، جهت محاسبه شاخص فرکانسی و سه شاخص مرتبط با آن (BPACI، ADLC، EFLC) با محاسبه میزان بار کاسته شده و بطور غیر مستقیم، تقریبی از شاخص فرکانسی تخمین زده می‌شود. که اگر چه این سه شاخص با استفاده از سه روش نتایج متفاوتی ارائه داده‌اند ولی میانگین درصد اختلاف نتایج نشان می‌دهد که روش ارائه شده تقریب نزدیکی به روش نمونه‌برداری انتقال حالت مونت کارلو است. در جدول (۶) سایر شاخص‌های یکساله شین با استفاده از روابط مربوطه محاسبه شده‌اند [۱۹].

همانگونه که در این جدول آمده است شاخص‌های محاسبه شده برای ۱۷ باسبار (PQ) می‌باشد که متناسب با مقدار بار کاسته شده در زمان بروز اغتشاش در سیستم و برای بدترین حالت سیستم، با استفاده از روش تحلیلی و تکنیک الگوریتم ژنتیک محاسبه شده‌اند. از این شاخص‌ها در تعیین نقاط ضعف سیستم و مقایسه اثرات محلی سرمایه‌گذاری تجهیزات و انتخاب شینه‌بندی مناسب برای دسترسی به سطح مشخصی از قابلیت اعتماد می‌توان بهره گرفت. همچنین دیده می‌شود که برای بدترین حالت سیستم از شین شماره ۷ کمترین مقدار انرژی یعنی ۰/۰۱۶۴ مگاوات کاسته شده و از شین شماره ۱۸ بیشترین مقدار انرژی معادل ۳/۳۷۴ مگاوات از دست رفته است. همچنین شین شماره ۲۰ دارای بیشترین احتمال و فرکانس مورد انتظار کاستی نسبت به سایر شین‌ها می‌باشد. در این صورت اگر بار نصب شده بر این شین از اهمیت اقتصادی فراوانی برخوردار باشد، قطع هر لحظه از بار آن شین موجب تحمیل خسارتهای بزرگ و جبران‌ناپذیر مالی خواهد شد.

از مقایسه نتایج این روش با روش مونت کارلو، زمان شبیه‌سازی به دلیل اینکه در روش پیشنهادی حالت‌های نمونه برداری شده تنها یکبار تحلیل می‌شوند کمتر است. در این راستا استفاده از عملکرد موازی نمونه‌برداری الگوریتم ژنتیک منجر به کاهش بیشتر زمان محاسباتی خواهد شد.

قابل ذکر است که در صورتیکه درجه اهمیت بارها تغییر کند شاخص‌های شین متفاوتی به دست می‌آید. برای نمونه، در موردی که شین ۶ از اهمیت بالا و شین ۲ از اهمیت کمتری برخوردار باشند، نتایج در جدول (۴) ارائه شده‌اند. همچنین شاخص‌های شین‌ها در صورتیکه محدوده حداکثر از هر بخش بار تغییر کند، مقادیر شاخص‌ها متفاوت خواهد بود.

جدول ۴- شاخص‌های کفایت یکساله برای شین‌های بار، درجه اهمیت از مهمترین تا کم اهمیت‌ترین شین برابر است با: ۶، ۵،

۲، ۳، ۴

شاخصهای کفایت	LOLP	EENS	LOLF	LOLD
شین ۲	۰/۰۰۸۶۰	۳۰۶/۳۲۴	۳/۱۳۷۲	۲۳/۹۶۳
شین ۳	۰/۰۰۸۶۱	۴۳۷/۷۵۷	۳/۱۵۴۹	۲۳/۸۵۴
شین ۴	۰/۰۰۲۲۸	۹۰/۹۸۹	۰/۸۶۲۶	۲۳/۱۲۴
شین ۵	۰/۰۰۰۲۷	۸/۷۷۶	۰/۱۵۰۵	۱۵/۹۹۹
شین ۶	۰/۰۰۱۳۷	۲۰۶/۵۸۰	۱/۱۲۰۸	۱۰/۶۸۴

از مقایسه نتایج جداول (۲ و ۳) دیده می‌شود که احتمال از دست رفتن بار، انرژی مورد انتظار تغذیه نشده، فرکانس و طول مدت از دست رفتن بار از جمله مهمترین شاخص‌هایی هستند که از محدوده اهمیت شین‌ها بسیار تأثیرپذیر می‌باشند. در طی فرایند طراحی و در زمان تصمیم‌گیری درباره قابلیت اعتماد هر کدام از شین‌ها و راه‌های افزایش آن از طریق انتخاب، شینه‌بندی‌هایی با عملکرد مطمئن و ضریب قابلیت اعتماد بالاتر در ایستگاه‌ها مطالعه و بررسی این شاخص‌ها حائز اهمیت می‌باشد.

ب) بررسی نتایج سیستم ۲۴ شینه

دومین سیستم آزمایشی مورد استفاده نسبتاً بزرگ می‌باشد که شامل ۲۴ شین، ۳۸ خط انتقال/ ترانسفورماتور و ۳۲ واحد نیروگاهی است. حداکثر بار یکساله سیستم ۲۸۵۰ مگاوات و کل ظرفیت نصب شده نیروگاهی ۳۰۴۵ مگاوات است [۱۴].

روش پیشنهادی برای سیستم آزمایشی اجرا و نتایج حاصله با روش انتقال حالت از شبیه‌سازی مونت کارلو و روش هیبرید در جدول (۵) مقایسه شده است [۱۵ - ۱۶].

قابل ذکر است که در مطالعات اخیر محققان، بندرت از سیستم آزمایشی ۲۴ شینه فوق‌الذکر استفاده شده است و لذا مقایسه نتایج این روش با تکنیک‌های جدید مقذور نبود.

جدول ۵- مقایسه شاخصهای یکساله شین برای سیستم آزمایشی IEEE RTS^(۱) با استفاده از سه روش

شاخصهای کفایت	روش پیشنهادی پخش بار AC	نمونه برداری انتقال حالت	روش هیبرید	اختلاف % ستون ۱ و ۲	اختلاف % ستون ۱ و ۳	اختلاف % ستون ۲ و ۳
PLC	۰/۰۷۸۳	۰/۰۸۴۳۴	۰/۰۸۰	۷/۱۱۷۴	۲/۱۲۵	۵/۳۷۵
EDLC	۷۴۳/۵۷۶	۷۳۶/۷۷	۶۹۸/۸۸	۰/۹۱۵۳	۶/۰۱۱	۵/۴۲۱۵
EFLC	۴۸/۹۸۴	۱۹/۵۷۱۵	۵۴/۷۵۳	۶۰/۰۴۶۱	۱۰/۵۳۶۴	۱۷۹/۷۶۶
ADLC	۳۰/۷۶۵	۳۷/۶۴۵۲	۱۲/۷۶۴	۱۸/۲۷۶	۵۸/۵۱۱۳	۱۹۴/۹۳۱۱
EDNS	۱۴/۷۶۵	۱۴/۴۴۴۶	۱۳/۹۷۰۴۵	۲/۲۰۱۲	۵/۳۸۴۴	۳/۳۶۴۴
EENS	۱۲۳۸۴۵/۳۴	۱۲۶۱۸۸/۴۵	۱۲۲۰۴۵/۸۸	۱/۸۵۶۸	۱/۴۵۲۶	۳/۳۹۳۸
BPII	۳/۴۵۴	۳/۶۰۱۹	۳/۳۳۶۵	۴/۱۰۶۲	۳/۴۰۱۹	۷/۹۵۴۴
BPECI	۴۵/۸۸۵۶	۴۴/۲۷۶۶	۴۲/۸۲۳	۳/۵۰۶۵	۶/۶۷۴۴	۳/۳۹۴۴
BPACI	۳۷۶/۷۶۵	۵۲۴/۵۲	۱۷۳/۶۷	۲۸/۱۶۹۶	۵۳/۹۰۵	۲۰۲/۰۲۱۱
MBECI	۰/۰۰۵۲۴	۰/۰۰۵۰۷	۰/۰۰۴۹	۱/۹۲۳۱	۵/۷۶۹۲	۴/۰۸۱۶
مجموع اختلاف	-	-	-	۱۲۸/۱۱۸۲	۱۵۳/۷۷۱۲	۶۰۹/۷۰۳۳

شده است. این روش از الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزار جستجوی قدرتمند و هوشمندی برای یافتن و تعقیب حالت‌های خرابی که منجر به کاستی بار در سیستم می‌گردند، استفاده می‌کند. کارایی الگوریتم ژنتیک بستگی به انتخاب مناسب تابع تحلیل کروموزوم دارد. حالت‌های نمونه برداری شده توسط این الگوریتم با سایر اطلاعات مربوطه، در آرایه حالت ذخیره می‌شوند. پس از پایان روند جستجو، از تمام حالت‌های ذخیره شده در آرایه حالت برای محاسبه شاخص‌های کفایت تمام سیستم و شین‌های بار استفاده می‌شود.

روش پیشنهادی بر روی سیستم‌های آزمایشی ۶ شینه و ۲۴ شینه آزمایش شده است.

مقایسه نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی با نتایج سایر تکنیک‌هایی که بر اساس روش‌های تحلیلی، مونت کارلو، هیبرید، الگوریتم ژنتیک با پخش بار DC، ترکیب الگوریتم ژنتیک و روش فازی، مدلسازی حالت‌های چند-گانه واحدهای تولیدی می‌باشند، نشان می‌دهد که نتایج قابل قبول بوده و در ضمن از برخی از روش‌های مرسوم به دلیل هوشمند بودن روند جستجو، بهتر می‌باشد. علاوه بر این، با این روش می‌توان اغلب حالت‌های خرابی با احتمال بالا و حالت‌های با شدت وقوع بیشتر را شناسایی کرد. مطالعه و محاسبه دقیق شاخص‌های قابلیت اعتماد نظیر حالت‌های خرابی منجر به حصول دستورالعمل‌ها و

جدول ۶- شاخص‌های یکساله شین برای سیستم آزمایشی

IEEE RTS

شماره شین	PLC	EFLC	EDNS
۱	۰/۰۰۲۱۷	۰/۸۳۱۷۹	۰/۰۴۶۶۴
۲	۰/۰۰۲۲۸	۱/۰۲۷۵۰	۰/۰۴۳۳۸
۳	۰/۰۰۲۸۶	۱/۱۷۴۳	۰/۰۸۷۷۵
۴	۰/۰۰۳۸۷	۱/۴۶۷۸	۰/۰۵۵۵۷
۵	۰/۰۰۴۲۷	۱/۵۶۵۷	۰/۰۵۶۱۸
۶	۰/۰۰۵۲۹	۲/۰۰۶	۰/۱۲۵۰
۷	۰/۰۰۵۳۱	۲/۰۵۵	۰/۰۱۶۴
۸	۰/۰۰۸۵۴	۲/۷۸۹	۰/۲۴۲۳
۹	۰/۰۱۰۲۲	۳/۶۶۹۶۶	۰/۳۲۳۲
۱۰	۰/۰۱۲۳۹	۴/۲۰۷۸	۰/۴۴۱۲
۱۳	۰/۰۱۸۰۱	۶/۰۶۷	۰/۷۸۱۶
۱۴	۰/۰۲۹۰۵	۷/۶۳۲	۰/۹۴۷۴
۱۵	۰/۰۴۲۳۱	۹/۲۹۶	۲/۴۲۵۵
۱۶	۰/۰۴۵۳۱	۱۰/۰۷۹	۰/۸۹۷۰
۱۸	۰/۰۵۵۰۶	۱۳/۸۹۵	۳/۳۷۴
۱۹	۰/۰۷۴۵۰	۱۷/۶۶۳	۲/۴۵۱۳
۲۰	۰/۰۸۴۳۴	۱۹/۵۷	۲/۱۲۶۴

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش جدیدی برای به دست آوردن شاخص‌های قابلیت اعتماد سیستم تولید و انتقال (سیستم ترکیبی) معرفی

راهکارهای مفیدی در جهت افزایش قابلیت اعتماد شیشه‌ها و در نهایت سیستم قدرت خواهد شد.

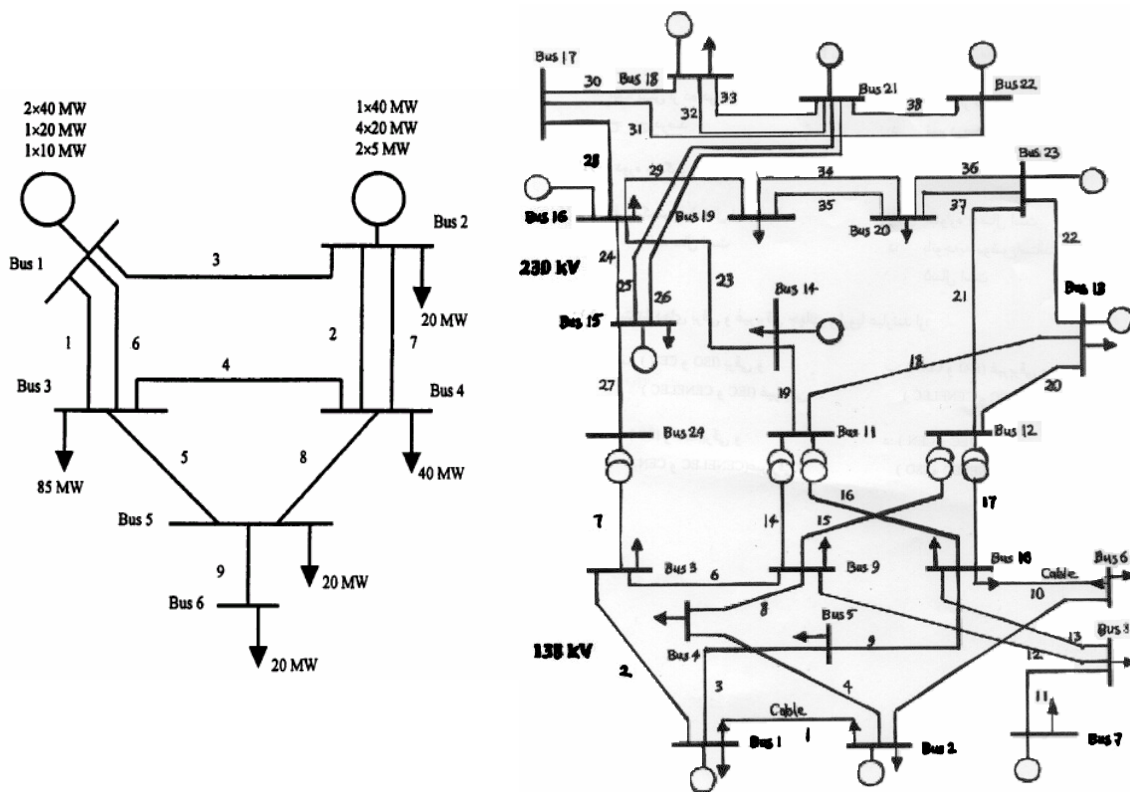
[18] N. Samaan and C. Singh, "Genetic Algorithms Approach For The Assessment Of Composite Power System Reliability Considering Multi- State Components", Presented At The Proc. Of Int. Conf. On Probability Methods Applied To Power Systems (Pmaps 2004), Ames, Iowa, Sep. 2004.

[۱۹] حویس، شهین، "ارزیابی شاخص‌های قابلیت اعتماد سیستم‌های قدرت ترکیبی (تولید و انتقال) با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۳

[16] R. Billinton and L. Wenyuan, "Hybrid Approach For Reliability Evaluation Of Composite Generation And Transmission System Using Monte Carlo Simulation And Enumeration Technique", IEE Proc - C, vol. 138, no. 3, May 1991.

[17] N. Samaan and C. Singh, "State Evaluation In Composite Power System Reliability Using Genetic Algorithms Guided By Fuzzy Constraints", Presented At The Proc. Of Int. Conf. On Power Syst. Technology (Power Conf. 2002), Kunming, China, pp. 409-414, Oct. 2002.

ضمیمه



شکل ۲- نمودار تک خطی سیستم‌های آزمایشی ۶ شینه RBTS و ۲۴ شینه تک ناحیه‌ای IEEE RTS-96 قابلیت اعتماد

