کاربرد مجموعه های فازی در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های توزیع

محمودرضا حقی فام
استادیار

علیرضا حاتمی
کارشناسی ارشد

حسین سیفی
دانشیار
بخش مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

بررسی آماری خاموشی های مشترکین نشان می دهد که درصد عمده ای از خاموشی ها ناشی از رخدادهای شبکه توزیع است. بنابراین ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های توزیع از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از مشکلات مهم در این ارزیابی، نبودن نظام اطلاعاتی مؤثر برای استخراج اطلاعات لازم و نیز غیرقطعی بودن آنها برای مطالعات قابلیت اطمینان می باشد. در این مقاله باتوجه به عدم قطعیت پارامترهای ورودی استفاده از مجموعه های فازی در مباحث قابلیت اطمینان سیستم های توزیع پیشنهاد شده است. در این مقاله همچنین ضمن بررسی اغلب مدهای خطای شبکه، احتمال عملکرد موفق تجهیزات حفاظتی و همچنین بارهای موجود در نقاط بار نیز به صورت اعداد فازی در نظر گرفته شده و دیده می شود که فازی بودن بار اثر زیادی روی توزیع فازی ENS می گذارد. همچنین معیاری برای دفازه کردن اندیس های فازی بیان شده و در انتها براساس شبیه سازی کامپیوتری، مطالعات عددی در مورد شبکه توزیع استاندارد RBTS انجام گرفته است.

Application of Fuzzy Sets in Reliability Evaluation of Electric Distribution Systems

M.R. Haghifam
Assistant Professor

A. R. Hatami
Graduate Student

H. Seifi
Associate Professor
Department of Electrical Engineering, Tarbiat Modarres University

Abstract

A power system consists of three subsystems: generation, transmission and distribution, among which the last one is the nearst to load centers, the most widespread and also the most failure - prone. Therefore satisfactory operation of electrical networks has strong connection with reliability of distribution subsystem. In distribution reliability evaluation an obstacle is that data needed in calculation may not be available with satisfactory precision.

To overcome this difficulty, in this paper, the use of fuzzy set and possibility theories in electric distribution systems reliability evaluation is proposed. In this study, failure rate, repair time and load are shown with suitable fuzzy numbers, Also the reliability formulae are extended to be applicable with fuzzy numbers.

This method has been tested and evaluated on a standard network (RBTS) with satisfactory results.

فهرست لغات کلیدی

۱ ـ قابلیت اطمینان؛۲ ـ شبکه های توزیع؛ ۳ ـ مجموعه های فازی.

مقدمه

بررسی آماری خاموشی های مشترکین نشان می دهد که درصد عمده ای از خاموشی ها ناشی از رخدادهای شبکه توزیع است [۱]. بنابراین ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های توزیع از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از اهداف مطالعات قابلیت اطمینان در شبکه های توزیع، پیشگویی کیفیت یا شایستگی سیستم و تعیین میزان اعتماد به آن است. برای این منظور از اطلاعاتی مانند متوسط نرخ خرابی تجهیزات، متوسط زمان تعمیر تجهیزات و .. که از سابقه سیستم جمع آوری شده است، استفاده می شود. واضح است که مقادیر این پارامترها مقادیر غیردقیق و غیرقطعی هستند و این پدیده را در اصطلاح عدم قطعیت پارامترها می نامند. بنابراین اگر اندیس های قابلیت اطمینان شبکه را از روی این پارامترها بدست آوریم، نتایج نیز غیرقطعی و غیرواقعی خواهند بود. برای محدود کردن اثر عدم قطعیت پارامترهای ورودی، روش های احتمالی پیشنهاد شد که مشهورترین آنها شبیه سازی مونت کارلو می باشد [۲] [۳]. این روش ها (بخصوص روش مونت کارلو) چندین عیب دارند که به اختصار بیان می شوند. اولاً محاسباتشان به زمان طولانی نیاز دارد، ثانیاً رفتار احتمالی هر عنصر تابع ساختار شبکه و شرایط آب وهوایی منطقه است و توزیع های احتمالی پارامترهای ورودی (مانند توزیع احتمالی زمان لازم برای تعمیر یک عنصر) از شبکه ای به شبکه دیگر و از منطقه ای به منطقه دیگر تغییر می کند، ثالثاً برای بیان رفتار احتمالی هر عنصر به یک سری داده ها و اطلاعات نیاز است و به علت عدم دسترسی کافی به اطلاعات (ناشی از دسترس پذیری بالای تجهیزات)، اطلاعات به دست آمده از خرابی و تعمیر تجهیزات از نظر آماری برای بیان رفتار احتمالی هر عنصر کافی نیست [۴] [۵] [۶]. در نتیجه توزیع های احتمالی نیز تحت تأثیر عدم قطعیت ها قرار خواهند گرفت.

برای در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای ورودی در مراجع [۶] [۷] استفاده از مجموعه های فازی پیشنهاد شده است. در این مقالات با در نظر گرفتن نرخ خرابی عناصر، زمان لازم برای تعمیر عناصر و نرخ تعمیر و نگهداری تجهیزات به صورت پارامترهای فازی، توزیع فازی انرژی تأمین نشده سیستم (ENS) به دست آمده است. اما در این مقالات از خطاهای اکتیو و پدیده استاک در تجهیزات حفاظتی صرفنظر شده است. همچنین احتمال عملکرد تجهیزات حفاظتی و قطع کننده ها (مانند کلیدها، فیوزها و ..) با یک عدد قطعی بیان شده است. علاوه بر موارد مذکور، بارهای موجود در نقاط بار هم به صورت مقادیری قطعی در نظر گرفته شده اند.

باتوجه به اثرات زیاد مدهای خطای اکتیو و پدیده استاک بر روی اندیس های قابلیت اطمینان در این مقاله، اثر این نوع از مدهای خطا هم در نظر گرفته شده است. همچنین باتوجه به عدم قطعی بودن مقادیر، احتمال عملکرد موفق تجهیزات حفاظتی، پارامتر مذکور نیز به صورت فازی در نظر گرفته شده است.،علاوه بر این موارد، بارهای موجود در نقاط بار هم به صورت فازی در نظر گرفته شده اند. مورد اخیر باتوجه به تغییرات وسیع بارهای شبکه های توزیع، تأثیر عمده ای در ارزیابی واقعی قابلیت اطمینان شبکه های توزیع خواهد داشت.

در ادامه مقاله با بررسی مبانی مجموعه های فازی ، روش پیشنهادی مطرح شده و با انجام مطالعات عددی در مورد شبکه توزیع باس ۲، RBTS قابلیت های آن نشان داده شده است.

۲ ـ مجموعه های فازی

در تئوری مجموعه های معمولی، هر مجموعه مرز مشخصی دارد. بنابراین تردیدی در تعلق یا عدم تعلق یک عضو به یک مجموعه وجود ندارد. تابع مشخصه یا تابع عضویت هر عضو از مجموعه مرجع (X) در مجموعه A ($A \subset X$) به صورت رابطه (۱) بیان می شود.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \qquad (۱)$$

برای معرفی پارامترهای غیردقیق و غیر قطعی نیاز به تعمیم تعریف فوق داریم. به صورتی که مرزهای مجموعه، قابلیت انعطاف داشته باشد. بنابراین درجه تعلق یک عضو به مجموعه به جای صفر یا یک، عددی حقیقی در فاصله [۰ ۱] خواهد بود. در این حالت تابع عضویت به صورت رابطه (۲) بیان می گردد.

$$\mu : X \rightarrow [0 \;\; 1] \qquad (۲)$$

و مجموعه فازی A با رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$A = \left\{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in X \right\} \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، X مجموعه مرجع ($A \subset X$) و $\mu_A(x)$ درجه عضویت با میزان تعلق متغیر x به مجموعه A است.

۳ ـ توابع عضویت پارامترهای ورودی

۳ ـ ۱ ـ نرخ‌های خرابی و زمان تعمیر تجهیزات

نرخ‌های خرابی و زمان تعمیر تجهیزات (مانند نرخ خروج اجباری یک عنصر یا زمان لازم برای تعمیر و نگهداری برنامه ریزی شده) همگی مقادیر غیردقیق و غیر قطعی‌اند. برای مدل نمودن این عدم قطعیت ، بهتر است آنها را با اعداد فازی بیان نماییم. عدد فازی مناسب برای آنها عدد فازی مثلثی است، زیرا این عدد فازی عدم قطعیت‌ها را به خوبی مدل می‌کند [۸] و انجام عملیات‌های جبری روی آن نیز ساده است.

۳ ـ ۲ ـ تجهیزات حفاظتی

با مشاهده عملکرد تجهیزات حفاظتی دیده می‌شود که در برخی موارد این تجهیزات وظیفه خود را به خوبی انجام نمی‌دهند. لذا برای توصیف عملکرد آنها از تئوری احتمالات استفاده می‌شود. عددی که بیانگر احتمال عملکرد موفق این تجهیزات است، عددی است غیرقطعی (طبق آنچه که در قسمت ۳ ـ ۱ بیان شد). بنابراین برای مدل نمودن آن از اعداد فازی استفاده می‌کنیم. عدد فازی پیشنهادی در این حالت نیز، یک عدد فازی مثلثی است.

۳ ـ ۳ ـ بار

باتوجه به تغییرات وسیع بار در شبکه‌های توزیع، همچنین عدم قطعیت‌هایی که در نرخ رشد بار و پیش‌بینی آن وجود دارد و توزیع‌های احتمالی قادر به مدل کردن این عدم قطعیتها نیستند [۹] [۱۰]. برای مدل نمودن بار عدد فازی ذوزنقه‌ای پیشنهاد می‌شود. این توزیع فازی عدم قطعیت‌هایی را که هنگام پیش‌بینی بار بر نتایج اثر می‌گذارند، به خوبی مدل می‌کند.

٤ ـ محاسبه قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع

٤ ـ ۱ ـ پارامترهای فازی و مدل مارکف

همانطور که در قسمت قبل توضیح داده شد، توزیع‌های فازی که برای پارامترهای ورودی در نظر گرفته می‌شود، توزیع مقدار متوسط این پارامترها است. باتوجه به این مطلب، فرمول‌هایی که بر مبنای مدل مارکف به دست آمده‌اند، وقتی که پارامترهای ورودی فازی باشند نیز قابل استفاده است و توزیع فازی به دست آمده، توزیع فازی اندیس‌های قابلیت اطمینان خواهد بود [۱۱]. نکته‌ای که در محاسبات اندیس‌های فازی باید مدنظر داشت این است که باید از عدم قطعیت‌هایی که توسط برخی فرمول‌ها در نتایج ظاهر می‌شوند، جلوگیری کرد، مثلاً به جای رابطه (۴) (زمان لازم برای تعمیر دو تجهیز موازی) از رابطه (۵) استفاده نماییم.

$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \qquad (۴)$$

$$r = (r_1^{-1} + r_2^{-1})^{-1} \qquad (۵)$$

٤ ـ ۲ ـ الگوریتم محاسبه قابلیت اطمینان سیستم

برای محاسبه اندیس‌های فازی قابلیت اطمینان سیستم، از روش آنالیز مد خطا و کات ست مینیمال استفاده می‌شود. در این روش ابتدا مدهای خطایی که سبب قطع سرویس نقاط بار می‌شوند، تعیین می‌شود. سپس اندیس‌های قابلیت اطمینان متناظر با هر کات ست مینیمال محاسبه می‌شود. آنگاه با استفاده از اندیس‌های به دست آمده برای کات ست‌های مینیمال، اندیس‌های قابلیت اطمینان نقاط بار و کل سیستم محاسبه می‌شوند. مدهای خطایی که برای مطالعه و بررسی انتخاب شده‌اند عبارتند از:

۱ ـ خروج اجباری عنصری که تشکیل یک کات ست مینیمال در جه یک می‌دهد.

۲ ـ خروج اجباری همزمان عناصری که تشکیل یک کات ست مینیمال درجه دوم می‌دهند (از کات ست‌های مینیمال درجه دوم به بالا صرفنظر شده است).

۳ ـ خروج اجباری عنصری که همزمان با خروج تعمیر و نگهداری برنامه ریزی شده عنصر دیگری اتفاق می‌افتد (این دو عنصر تشکیل یک کات ست مینیمال درجه دوم می‌دهند).

۴ ـ خطای اکتیو عناصر.

۵ ـ خطای اکتیو و پدیده استاک در اولین تجهیز حفاظتی.

راه‌های گوناگونی برای محاسبه اندیس‌های متناظر با هر کات ست مینیمال و در نتیجه اندیس‌های قابلیت اطمینان با توجه به اینکه پارامترهای ورودی فازی

هستند، وجود دارد. یکی از این روش های مبتنی بر فاصله اطمینان [1] است [۱۲]. بدین ترتیب که به ازاء درجه عضویت های گوناگون ($1 \le \alpha \le 0$) فاصله های اطمینان متناظر با اندیس های کات ست مینیمال و در نتیجه اندیس های قابلیت اطمینان سیستم به دست می‌آیند. اگر این کار را به ازای فاصله های اطمینان متناظر با درجه عضویت های گوناگون ($1 \le \alpha \le 0$) انجام دهیم، تابع عضویت اندیس های قابلیت اطمینان سیستم به دست می‌آیند. در ضمیمه (۱) چگونگی به دست آوردن فاصله های اطمینان و انجام اعمال جبری روی آنها بیان شده است.

٤ـ۳ـ دفازه [2] نمودن اندیس‌های قابلیت اطمینان

اگر چه داشتن توزیع فازی اندیس های نقاط بار و سیستم بخصوص در بحث های اقتصادی قابلیت اطمینان سیستم توزیع لازم است، اما هنگامی که اصلاح یا تغییری در شبکه بوجود آید (چه در مرحله طراحی و چه در مرحله بهره برداری)، مقایسه توزیع های فازی اندیس ها، برای تصمیم گیری مشکل است. بنابراین مناسب است که اندیس های فازی را دفازه نمود تا مقدار واحدی به دست می‌آید و عمل مقایسه طرح های گوناگون ساده تر صورت گیرد. معیاری که پیشنهاد می شود، معیار COA [3] می باشد.

$$x^* = \frac{\int x\mu(x)\,dx}{\int \mu(x)\,dx} \qquad (۶)$$

۵ـ مطالعه و بررسی یک سیستم نمونه

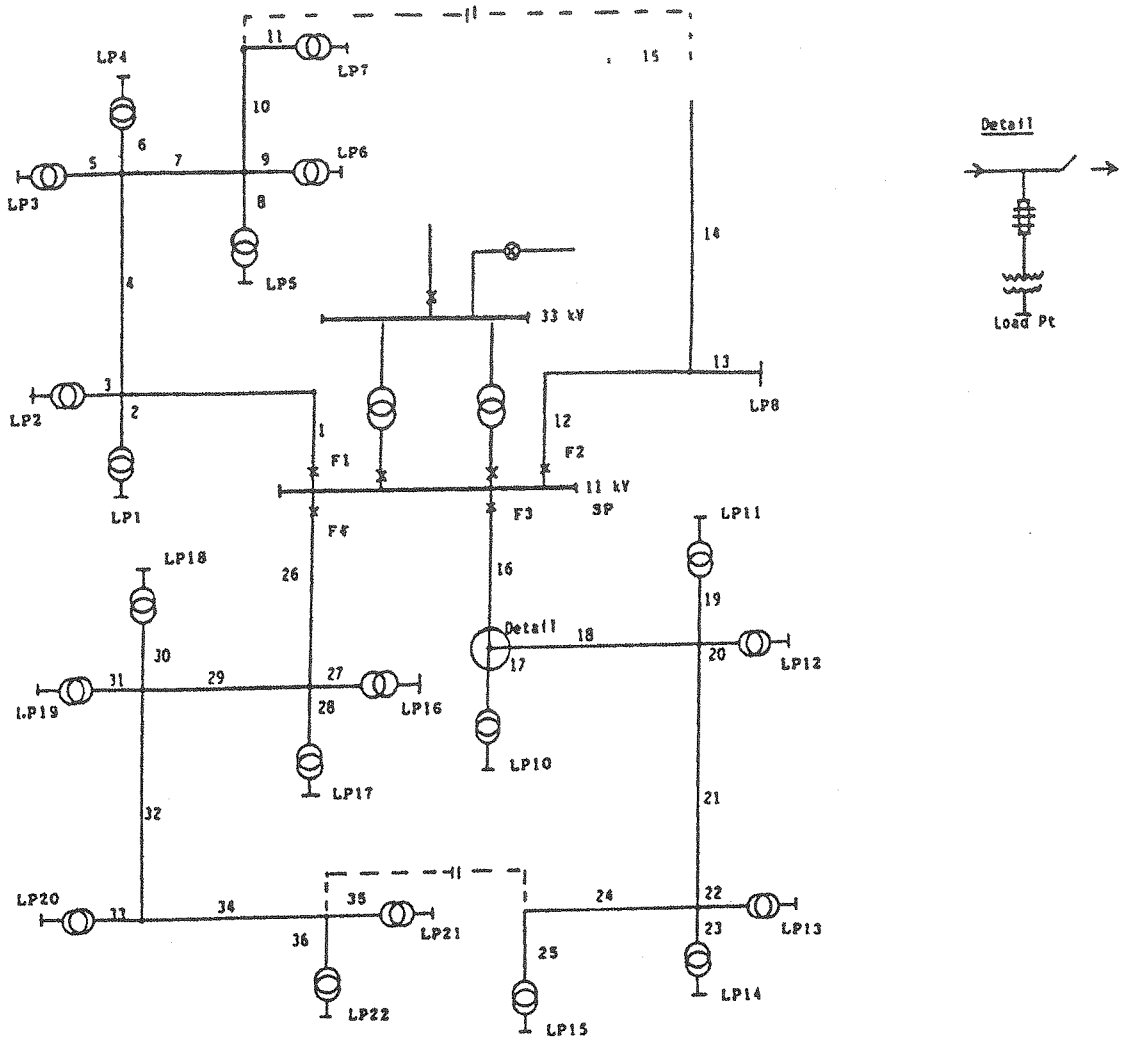
سیستم انتخاب شده برای مطالعه، شبکه توزیع باس ۲، RBTS است [۱۳] (شکل (۱)). این سیستم مجهز به فیوز و سکسیونر است، همچنین مجهز به کلیدهای معمولاً باز است که در صورت رخ دادن خطا روی یک فیدر، قسمتی از بار فیدر خطا دیده از طریق فیدر دیگر تغذیه می شود. اطلاعات لازم برای آنالیز قابلیت اطمینان سیستم در مرجع [۱۳] آمده است. در این مقاله از نرخ خرابی فیوزها، سکسیونرها، کلیدهای معمولاً باز و باس بارهای ۰/۴۱۵KV صرفنظر شده است. همچنین فرض شده است در مواقع لازم تجهیزات حفاظتی به خوبی عمل می‌نمایند. برای اینکه نتایج به دست آمده واقعی تر باشد با استفاده از مرجع [۱۴] برای تجهیزات ذکر شده نرخ خرابی در نظر گرفته شده. همچنین عملکرد موفق تجهیزات حفاظتی و کلیدهای معمولاً باز نیز با یک عدد احتمالی بیان شده است (احتمال عملکرد موفق کلیدهای ۱۱KV ۰/۹۵ فرض شده است و اطلاعات مابقی تجهیزات در جدول شماره (۱) آمده است).

حالتی که برای مطالعه در نظر گرفته شده، فرض می شود که مصرف کننده ها از طریق خطوط هوایی به پست ۳۳/۱۱KV متصل اند. همچنین در صورت خرابی یک ترانس فرض شده است که ترانس معیوب با یک ترانس سالم تعویض می شود (به جای اینکه ترانس معیوب تعمیر گردید). همچنین فرض شده است که ترانس های ۰/۴۱۵KV/۱۱ و باس بارهای ۰/۴۱۵KV در کلیه نقاط بار نیز متعلق به سیستم توزیع باشند.

جدول (۱) نرخ های خرابی و زمان تعمیر و احتمال عملکرد موفق بعضی از تجهیزات.

نوع تجهیز	λp (f/yr) (نرخ خرابی دائمی)	λa (f/yr) (نرخ خرابی اکتیو)	λ" (f/yr) (نرخ خروج تعمیر و نگهداری برنامه ریزی شده)	r (hr) (زمان تعمیر)	r" (hr) (زمان لازم برای تعمیر و نگهداری برنامه ریزی شده)	Pss (احتمال عملکرد موفق تجهیزات حفاظتی)	S(hr) (زمان سویچینگ)
باس بار ۰/۴۱۵ KV	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۱	۲	۸	–	۱
فیوز	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۳	–	۱/۱	–	۰/۹	۱
سکسیونر	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	–	۱/۱	–	۰/۹۹	۱
کلیدهای معمولاً باز	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	–	۱/۱	–	۰/۹۸	۱

شکل (۱) شبکه توزیع باس ۲، RBTS.

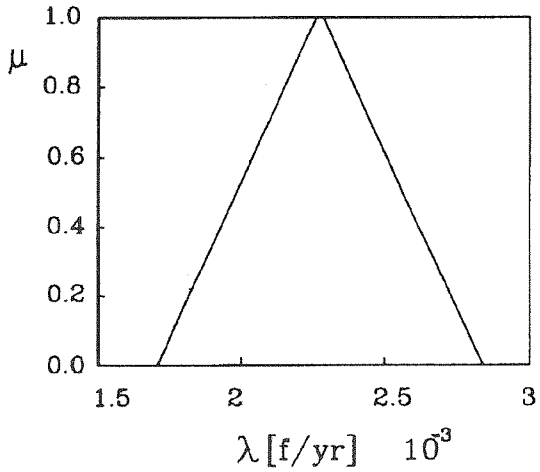


پارامترهای ورودی ۵۰٪ فازی شده‌اند. مثلاً نرخ خرابی فیوز که ۰/۰۰۲۳f/yr است، هنگامی که فازی شود به صورت شکل (۲) نمایش داده می‌شود. با فازی نمودن پارامترهای ورودی براساس شبیه سازی انجام شده، اندیس‌های فازی نقاط بار به دست می‌آیند. برای نمونه اندیس‌های فازی نقطه بار ۱۹ در شکل‌های (۳) و (۴) و (۵) نشان داده شده است. این اندیس‌های فازی چگونگی توزیع متوسط نرخ خرابی و ... را برای نقطه بار ۱۹ نشان می‌دهند، داشتن این توزیع‌ها در بحث‌های قابلیت اطمینان از دیدگاه اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. نکته‌ای که لازم است به آن اشاره شود، این است که اگرچه پارامترهای ورودی فازی، متقارن در نظر گرفته شدند، ولی توزیع‌های فازی به دست آمده برای اندیس‌ها دارای تقارن (نسبت به نقطه‌ای که ماکزیمم درجه عضویت را داراست) نیستند. شکل‌های (۶)، (۷)، (۸) و (۹) به ترتیب توزیع‌های فازی اندیس‌های ENS, CAIDI, SAIDI, SAIFI را نشان می‌دهند.

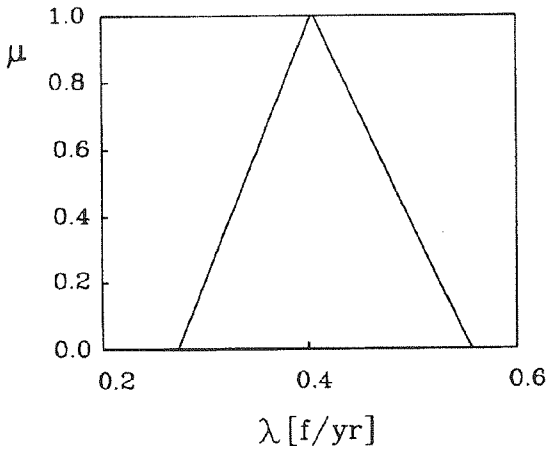
شکل (۹) توزیع فازی ENS را هنگامی که بار به صورت قطعی در نظر گرفته شود، نشان می‌دهد. اگر بار را به صورت فازی در نظر بگیریم، توزیع فازی که برای ENS به دست می‌آید به صورت شکل (۱۰) خواهد بود. دیده می‌شود که با در نظر گرفتن بار به صورت فازی، توزیع فازی ENS تغییر زیادی نسبت به حالتی که بار فازی نیست پیدا می‌کند. (برای پی بردن به چگونه فازی کردن بارها، بار نقطه ۱۹ با مقدار متوسط MW ۰/۴۵ و مقدار پیک ۰/۷۲۹۱MW به صورت فازی در

شکل (۱۱) نشان داده شده است).

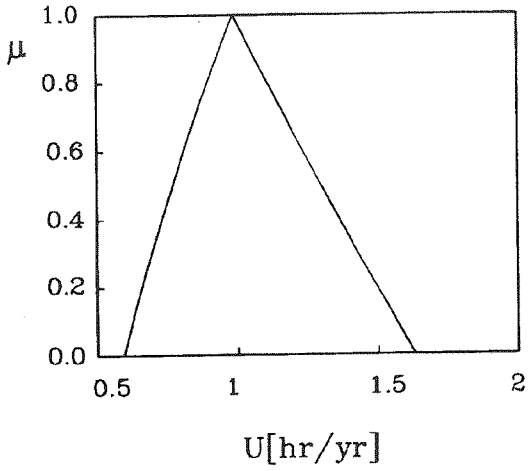
همانطور که قبلاً گفته شد هنگام مقایسه طرح های مختلف تصمیم گیری باتوجه به توزیع های فازی اندیس ها مشکل است، بنابراین لازم است اندیس های فازی، دفازه شوند. با استفاده از معیار معرفی شده ، مقادیر دفازه شده اندیس ها در جدول (۲) بیان شده است.



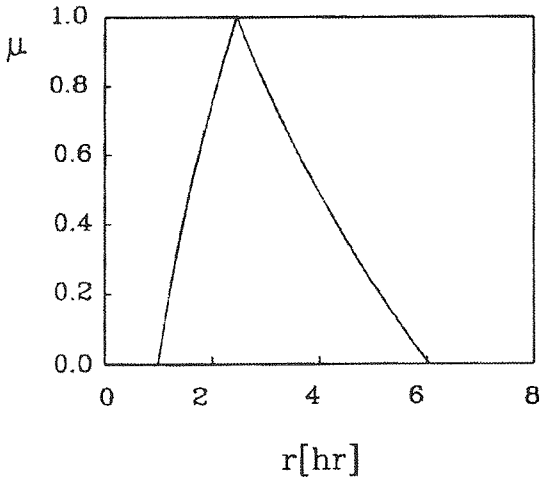
شکل (۲) نرخ خرابی فازی فیوز.



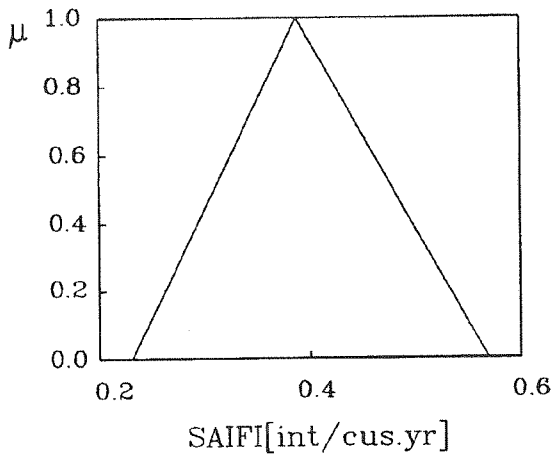
شکل (۳) توزیع فازی λ در نقطه بار ۱۹.



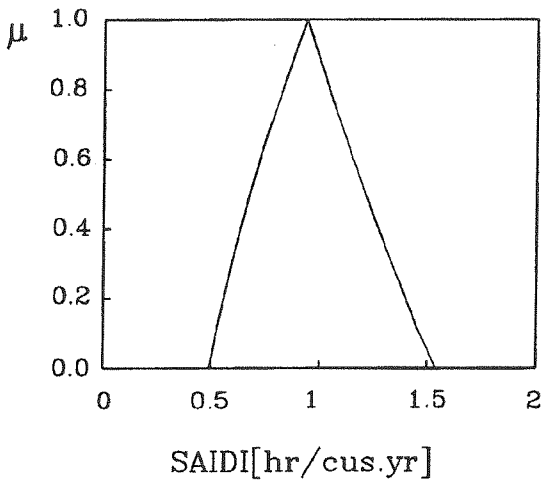
شکل (۴) توزیع فازی U در نقطه بار ۱۹.



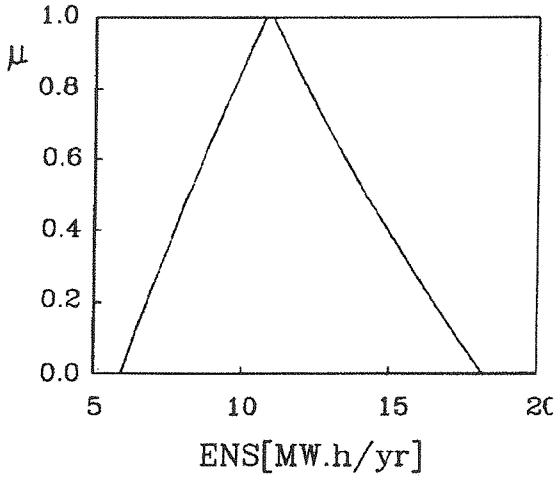
شکل (۵) توزیع فازی r در نقطه بار ۱۹.



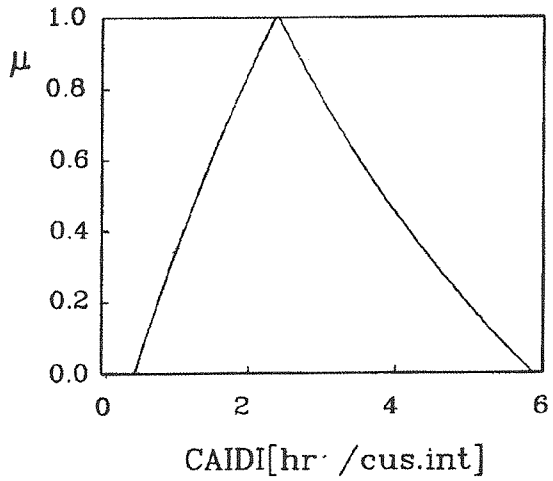
شکل (۶) توزیع فازی اندیس SAIFI.



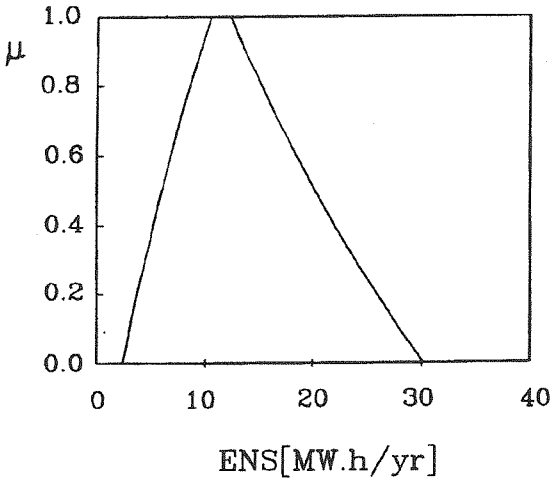
شکل (۷) توزیع فازی اندیس SAIDI.



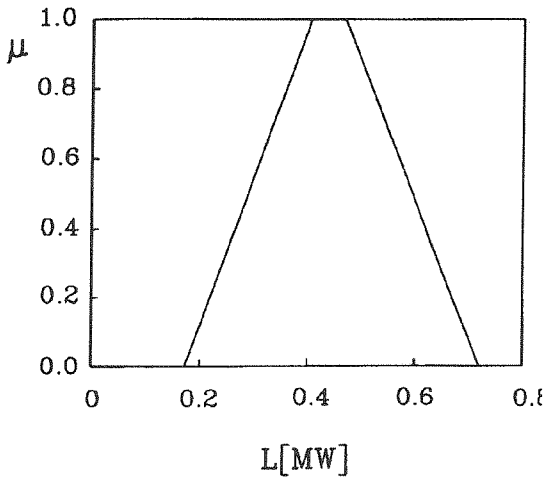
شکل (۹) توزیع فازی اندیس ENS با بار غیرفازی.



شکل (۸) توزیع فازی اندیس CAIDI.



شکل (۱۰) توزیع فازی اندیس ENS با بار فازی شده.



شکل (۱۱) توزیع فازی بار در نقطه ۱۹.

جدول (۲) اندیس های دفازه شده توزیع های فازی نمایش داده شده.

ENS* (MW.h/yr)	ENS (MW.h/yr)	CAIDI (hT/cus.int)	SAIDI (hr/cus.yt)	SAIFI (intt/cusyr)	U (hr/yr)	r (hr)	λ (f/yr)
۱۴/۴۸۴	۱۱/۹۲	۳/۰۷	۱/۰۳۶	۰/۴۰۰	۱/۰۶	۳/۱۷۵	۰/۴۱

* ENS: اندیس ENS است هنگامی که باری فازی است.

۶ـ نتیجه گیری

یک روش مـــؤثر برای ارزیابی قـــابلیت اطمـــینان سیستم های توزیع با استفاده از تئوری مجموعه های فازی ارائه شد. علاوه بر نرخ های خرابی و زمان تعمیر تجهیزات، احتمال عملکرد تجهیزات حفاظتی نیز با عدد فازی نشان داده شد و اغلب مدهای خطای شبکه مورد بررسی و مطالعـــه قـــرار گـــرفت. توزیع های فـــازی اندیس های قابلیت اطمینان شبکه به کمک ترکیب روش مـدخطا و فـاصله اطمـینان به دست آمـد. از دید دیگر توزیع های فـازی اندیس ها دامنه تغـییـر آن اندیس را هنگامی که پارامتـهای ورودی همزمان در یک محدوده معینی تغییر کنند ـ بیان می کند. به عبارت دیگر این روش آنالیز حساسیت کاملی را ارائه می دهد. همچنین توزیع اندیس ENS در دو حالت، وقتی که بار یک عدد معمولی است و وقتی بار یک عدد فازی است، به دست آمد و دیده شد که فازی بودن بار اثر زیادی روی این اندیس که در مقایسه اقتصادی طرح های گوناگون کاربرد زیادی دارد، می گذارد.

ضمیمه ۱

عدد فـازی نشـان داده شـده در شکل (۱) را در نظر بگیرید. اگر هر α برش (α-cut) را با Aα نمـایش دهیم، رابطه (۱) را خواهیم داشت:

$$\widetilde{A}\,\alpha = [a_1^{(\alpha)} , a_3^{(\alpha)}] \qquad (۱)$$

از خاصیت محدب بودن اعداد فازی می توان نتیجه گرفت که:

$$\alpha' < \alpha \Rightarrow a_1^{(\alpha)} \le a_1^{(\alpha')} , a_3^{(\alpha')} \ge a_3^{(\alpha)} \Rightarrow \widetilde{A}\alpha \subset \widetilde{A}\,\alpha' \quad (۲)$$

عملیات جبری روی اعداد فازی بستگی به عملیات جـبـری روی فـاصله های اطمـینان دارد، بعـضی از عملگرهای اصلی برای دو عدد فازی AوB که به وسیله فاصله های اطمینان شرح داده شده است، در این قسمت بیان می شود:

$$\widetilde{A}\alpha = [a_1^{(\alpha)} , a_3^{(\alpha)}] , \widetilde{B}\alpha = [b_1^{(\alpha)} , b_3^{(\alpha)}] , \alpha \in [0\ \ 1] \quad (۳)$$

$$A , B \subset X, a_1 , a_3 , b_1 , b_3 \in R^+$$

۱ـ جمع

$$\mu_{\widetilde{A}\oplus\widetilde{B}}(z) = V_{z=x+y}\,[\mu_{\widetilde{A}}(x) \wedge \mu_{\widetilde{B}}(y)] \qquad (۴)$$

$$\widetilde{A}\alpha \oplus \widetilde{B}\alpha = [a_1^{(\alpha)} , a_3^{(\alpha)}] + [b_1^{(\alpha)} , b_3^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)} + b_1^{(\alpha)} , a_3^{(\alpha)} + b_3^{(\alpha)}] \qquad (۵)$$

۲ـ تفریق

$$\mu_{\widetilde{A}\ominus\widetilde{B}}(z) = V_{z=x-y}\,[\mu_{\widetilde{A}}(x) \wedge \mu_{\widetilde{B}}(y)] \qquad (۶)$$

$$\widetilde{A}\alpha \ominus \widetilde{B}\alpha = [a_1^{(\alpha)} , a_3^{(\alpha)}] - [b_1^{(\alpha)} , b_3^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)} - b_3^{(\alpha)} , a_3^{(\alpha)} - b_1^{(\alpha)}] \qquad (۷)$$

۳ـ ضرب

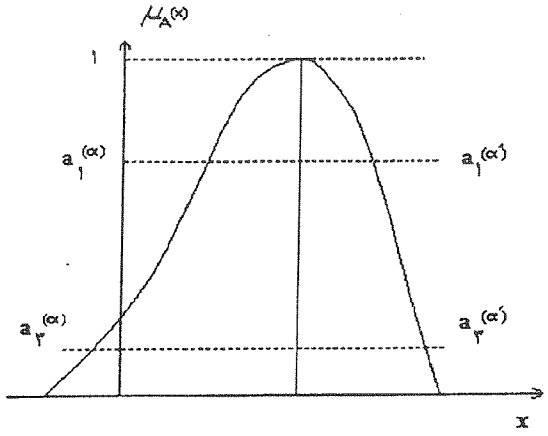
$$\mu_{\widetilde{A}\otimes\widetilde{B}}(z) = V_{z=x+y}\,[\mu\widetilde{A}(x) \wedge \mu\,\widetilde{B}(y)]$$

$$\widetilde{A}\alpha \otimes \widetilde{B}\alpha = [a_1^{(\alpha)} , a_3^{(\alpha)}]\,[b_1^{(\alpha)} , b_3^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)} b_1^{(\alpha)} , a_3^{(\alpha)} b_3^{(\alpha)}]$$

٤ـ تقسیم

$$\mu_{\widetilde{A}\oslash\widetilde{B}}(z) = V_{z=x/y}\,[\mu_{\widetilde{A}}(x) \wedge \mu_{\widetilde{B}}(y)]$$

$$\widetilde{A}\alpha \oslash \widetilde{B}\alpha = [a_1^{(\alpha)} , a_3^{(\alpha)}] / [b_1^{(\alpha)} , b_3^{(\alpha)}] = [a_1^{(\alpha)} / b_3^{(\alpha)} , a_3^{(\alpha)} / b_1^{(\alpha)}]$$



شکل (۱) نمایش یك عدد فازی

زیرنویس‌ها

1 - Interval of Confidence

2 - Difuzzification

3 - Center of Area

مراجع

[1] R. Billintion and R.N. Allan, Reliability evaluation of power systems, Pitman Books, New York, (1984).

[2] R. Bilintion and R.N. Allan, Reliability assessment of large electric power systems, Kluwer (Boston), (1988).

[3] R.N. Allan and M.G.Da. Silva, Evaluation of reliability indices and outage costs in distribution systems, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, No. 1, (1995).

[4] D. Dubois and H. Prade, Fuzzy sets and systems, Academic Press, London, (1980).

[5] G. Klir and T. Floger, Fuzzy sets, uncertainty and information, Prentice Hall, New Jersey, (1988).

[6] M. A.H. EL - Sayed and T.H. Seitz, Fuzzy sets for reliability assessment of electric power distribution systems, Proceeding of 37th Midwest Symposium on Circuits and Systems, Vol. 2, pp. 1494, (1994).

[7] H. J. Haubrich, T.H. Seitz and A. Bovy, Fuzzy sets in reliability analysis of power distribution systems, 1993 Expert System Application to Power Systems, Melbourne PP. 212-217, (1993).

[8] W. Podrycz, Why traingular membership functions, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 64, 21-30, (1994).

[9] V. Miranda and J. Saraiva, Impact on some planning decisions from a fuzzy modelling of power systems, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No. 2, 819-825, (1994).

[10] V. Miranda and J. Saraiva, Impact in power system modelling from including fuzzy concept in models, Proceeding of the 1993 PICA,pp. 327-333, Scottsdale, Arizona, (1993).

[11] C.c. Fong, T.Y. Wong and D.T. Tsail, Correspondence to evaluating the approximate probability distribution of load point reliabilty indices in power distributions networks, IEE Proceeding on Generation, Transmission and Distribution, Vol. 137, No. 2, 174-176, (1990).

[12] C.H. Cheng and D.L. Mon, Fuzzy system analysis by interval of Confidence, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 56, 29-35, (1993).

[13] R.N. Allan, R. Billinton, I. Sjarief, L. Goel and K.S. Son, A Reliability test system for educational Purposes - basic distribution system data and results, IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 2, 813-820, (1991).

[14] R.E. Brown, S. Gupta, R.D. Christie, S.S. Venkata and R. Fletcher, Distribution system reliability assessment using hierarchical markov modelling, IEEE Trans. on Power Systems. Vol. 11, no.4, 1929 - 1934, (1996).