

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستمهای توزیع و محاسبه هزینه خروج

براساس مجموعه‌های فازی

محمودرضا حقی فام

استادیار بخش برق - دانشکده فنی - دانشگاه تربیت مدرس

علیرضا حاتمی

کارشناسی ارشد بخش برق - دانشکده فنی - دانشگاه تربیت مدرس

حمید لسانی

دانشیار گروه مهندسی برق و کامپیوتر - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۷/۵/۱۹، تاریخ تصویب ۷۸/۳/۸)

چکیده

یکی از ابزارهای موثر در تصمیم‌گیری در انتخاب سناریوهای مختلف طراحی و یا توسعه شبکه‌های توزیع، مطالعات قابلیت اطمینان و محاسبه هزینه قطع برق می‌باشد. از طرفی به علت دسترس‌پذیری بالای تجهیزات، پارامترهای ورودی برای این مطالعات غیرقطعی می‌باشند. در این مقاله با توجه به عدم قطعیت پارامترهای ورودی، تئوری مجموعه‌های فازی برای محاسبات قابلیت اطمینان بکار گرفته شده و چگونگی استنتاج توابع عضویت مناسب برای پارامترهای ورودی آمده است. در ضمن الگوریتم محاسبات قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع با فرض غیرقطعی بودن نرخ خرابی، تعمیر و عملکرد سیستمهای حفاظتی به منظور محاسبه شاخصهای فازی نقاط بار، تابع عضویت هزینه خروج نقاط بار، فیدرها و سیستم پیشنهاد شده است. در انتها روش پیشنهاد شده روی قسمتی از شبکه شمالشرق تهران اجرا شده است که نتایج بدست آمده نشان دهنده موثر بودن روش پیشنهاد شده در برخورد با عدم قطعیتها در پارامترهای ورودی است.

کلید واژه‌ها: قابلیت اطمینان، هزینه خاموشی، شبکه‌های توزیع، مجموعه‌های فازی

مقدمه

فازی در زمینه قابلیت اطمینان سیستمهای توزیع در مراجع [۷] و [۶] صورت گرفته است. اما در این مقاله‌ها اشاره‌ای به چگونگی تعیین توابع عضویت پارامترهای ورودی نشده است. همچنین احتمال عملکرد تجهیزات حفاظتی و بارهای موجود در نقاط بار نیز مقادیری قطعی در نظر گرفته شده‌اند.

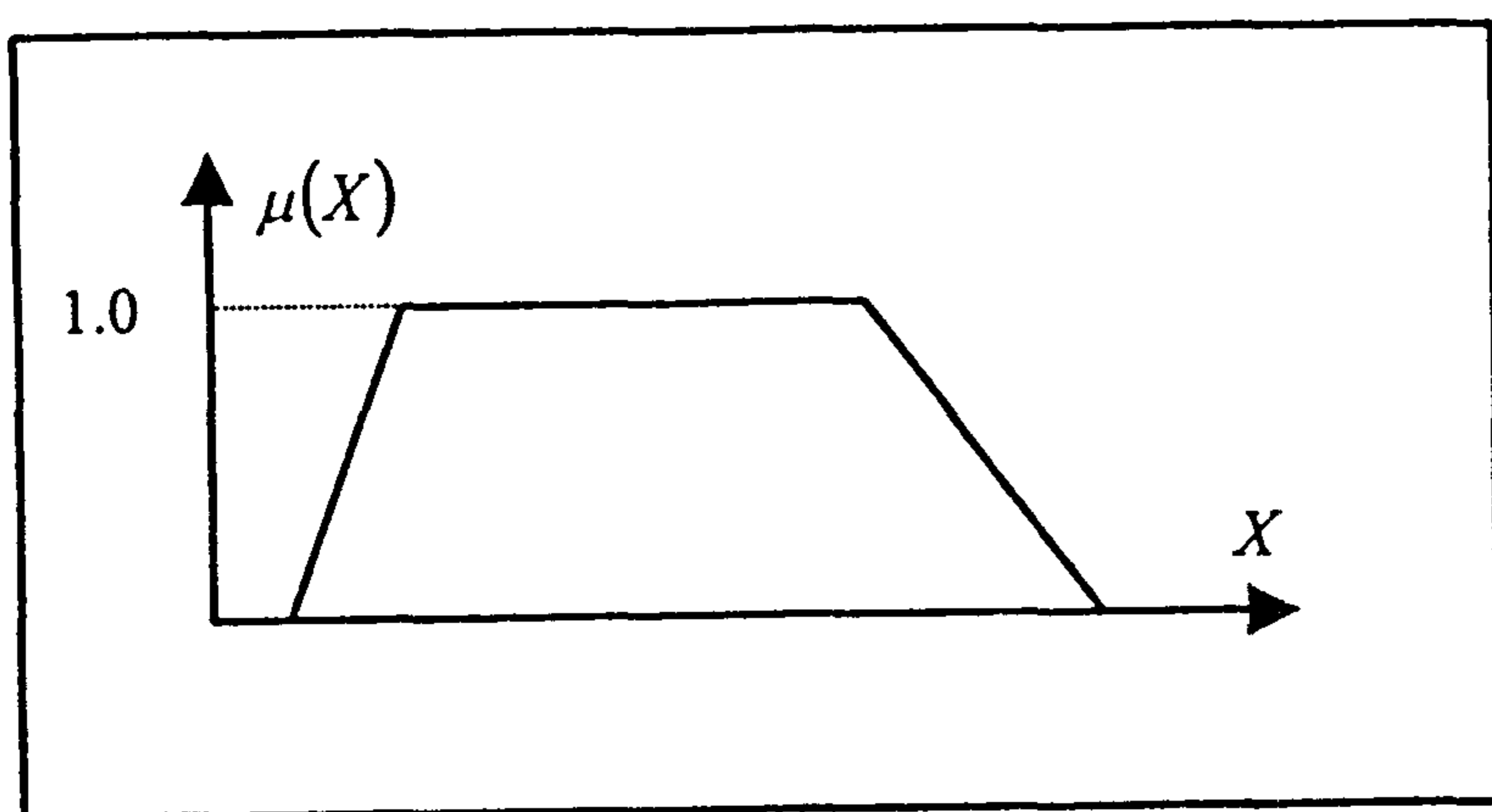
در این مقاله در جهت تکمیل کردن کارهای انجام گرفته در گذشته، با فرض احتمالی عمل کردن سیستمهای حفاظتی، توابع عضویت مناسب برای نرخهای خرابی و زمان تعمیر تجهیزات پیشنهاد شده، سپس روابط بدست آمده بر مبنای مدل‌های مارکف و تئیکه پارامترهای ورودی فازی باشند، مورد بررسی قرار گرفته و الگوریتم محاسبات قابلیت اطمینان ارائه می‌گردد. همچنین با استفاده از شاخصهای فازی بدست آمده، هزینه خروج سیستم با استفاده از روش $VBDRA^1$ محاسبه شده و معیاری مناسب برای دفازه کردن شاخصهای فازی آمده است. در انتها مطالعات عددی با استفاده از روش مطرح شده در مورد قسمتی از شبکه شمالشرق تهران انجام می‌گیرد.

بررسی آمار خاموشیهای مشترکین نشان می‌دهد که درصد عمده‌ای از خاموشیها ناشی از رخدادهای شبکه توزیع است؛ بنابراین مطالعات قابلیت اطمینان سیستمهای توزیع از اهمیت زیادی برخوردار است. با استفاده از مطالعات قابلیت اطمینان می‌توان طراحی و یا توسعه شبکه را به طور بهینه هم از نظر اقتصادی و هم از نظر کیفیت سرویس دهی انجام داد.

یکی از مشکلات اصلی در زمینه مطالعات قابلیت اطمینان سیستمهای توزیع، در دسترس نبودن آمار کافی از نرخهای خرابی و زمان تعمیر تجهیزات است. علت این امر بالا بودن دسترس‌پذیری بالای تجهیزات است [۹][۵]. به همین علت نرخهای خرابی و زمان تعمیر تجهیزات تحت تأثیر عدم قطعیتها قرار می‌گیرند و به تبع آن شاخصهای محاسبه شده نیز غیرواقعی و غیرقطعی خواهند بود. البته اگر فرض کنیم که آمار کافی از خرابی و تعمیر تجهیزات هم در دسترس باشد، علل و عوامل دیگری - غیر از آنچه ذکر شد - وجود دارد که ما را به سمت استفاده از نظریه فازی سوق می‌دهد [۱۰]. مطالعات ابتدایی و مقدماتی در مورد استفاده از مجموعه‌های

خرابی، تعمیر و یا احتمال عملکرد تجهیزات حفاظتی و بار دارای امکان حداکثر باشد که این با واقعیت موجود کاملاً منطبق می‌باشد. همچنین با تنظیم شیب و نحوه تغییرات ضلعهای طرفین ذوزنقه می‌توان اطلاعات موجود از پارامترهای ورودی را به نحو مناسبی مدل‌سازی نمود (شکل ۱-). در [۱۰] بحث مفصلی در مورد تعیین تابع عضویت نرخهای خرابی و تعمیرات - از هر یک از منابع ذکر شده - بیان شده است. پس از تعیین توابع عضویت برای نرخهای خرابی و تعمیرات از هر یک از منابع بایستی به طریقی این توابع عضویت را با یکدیگر ترکیب کرد تا تابع عضویت مناسبی برای نرخهای خرابی و تعمیرات تجهیزات بدست آورد. برای این منظور راههای گوناگونی وجود دارد که بسته به نوع مسئله می‌توان مناسبترین آنها را انتخاب کرد [۱][۱۰]. یکی از ساده‌ترین روشها، روش وزن‌گذاری قطعی (Crisp weighting) است. در این روش به هر یک از توابع عضویت (μ_i) - که از منابع گوناگون بدست آمده‌اند - یک وزن α_i نسبت داده می‌شود و تابع عضویت منتهی از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$\mu = \sum_{i=1}^I \alpha_i \mu_i, \quad \forall i \quad \alpha_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^I \alpha_i = 1 \quad (1)$$



شکل ۱: تابع عضویت ذوزنقه‌ای.

تعیین تابع عضویت مناسب برای بار نقاط بار

مطالعات قابلیت اطمینان سیستمهای توزیع هم در مرحله بهره‌برداری و هم در مرحله طراحی این سیستمها انجام می‌شود، در مرحله بهره‌برداری با رشد بار و همچنین تغییرات بار در فصول مختلف روبرو هستیم. همچنین با توجه به اینکه در اکثر سیستمهای توزیع بار هر یک از نقاط بار با روشهای تخصیص بار بدست می‌آید، لذا واضح است که مقدار تخصیص داده شده مقداری دقیق نیست بلکه مقداری تقریبی خواهد بود.

تعیین توابع عضویت پارامترهای ورودی

تعیین تابع عضویت نرخهای خرابی، زمان تعمیر تجهیزات و احتمال عملکرد موفق تجهیزات حفاظتی

منابع گوناگونی برای تعیین نرخهای خرابی، زمان تعمیر تجهیزات و احتمال عملکرد موفق تجهیزات حفاظتی وجود دارد. برخی از این منابع عبارتند از:

آمار خرابی و تجهیزات که از سابقه سیستم جمع‌آوری شده است با توجه به ثبت حوادث و اتفاقات در شبکه‌های توزیع، می‌توان با آمار اتفاقات حاصله در یک دوره طولانی، حدود تغییرات حداکثر امکان نرخهای خرابی، تعمیر و احتمال عملکرد سیستمهای حفاظتی را بدست آورد.

آمارهای موجود از شبکه‌های مشابه

این منبع اطلاعاتی بخصوص وقتی اهمیت پیدا می‌کند که یا شبکه تحت مطالعه فاقد سیستم اطلاعاتی مکانیزه از گذشته باشد و یا اینکه مدت کمی از سابقه سیستم گذشته باشد که در این حالت اطلاعات کافی در دسترس نخواهد بود، در این حالت بهتر است با استفاده از اطلاعات شبکه مشابه اقدام نمود.

نظر افراد خبره و متخصص

افراد خبره بهره‌بردار یکی از مهمترین منابع اطلاعاتی می‌باشند. این افراد با توجه به سابقه طولانی در بهره‌برداری از شبکه قابل اطمینان‌ترین منابع اطلاعاتی برای بخصوص سیستمهای بدون نظام اطلاعاتی مکانیزه می‌باشند. فقط اشکال اساسی در این زمینه، دخالت اشتباهات و استنتاج غیردقیق انسانی می‌باشد.

اطلاعات کارخانه سازنده تجهیزات

کارخانجات سازنده با توجه به تست‌های زیر بار تجهیزات، اطلاعاتی از احتمال خرابی به مشتریان خود می‌دهند که البته با توجه به اینکه شرایط جغرافیایی و نحوه بهره‌برداری در آنها بسیار موثر می‌باشند، منبع اطلاعاتی چندان دقیقی نخواهند بود.

از هر یک از این منابع می‌توان یک تابع عضویت برای نرخ خرابی، تعمیرات و احتمال عملکرد تجهیزات حفاظتی بدست آورد. یک تابع عضویت مناسب برای مدل نمودن عدم قطعیت‌های هر یک از منابع ذکر شده تابع عضویت ذوزنقه‌ای (مثلثی) است؛ توابع ذوزنقه‌ای دارای این مشخصه می‌باشند که یک محدوده از نرخ

مینیمال از دو روش می‌توان استفاده کرد. روش اول مبتنی بر محاسبات فاصله اطمینان است [۲]، روش دوم استفاده از اعمال تقریبی حسابی روی اعداد فازی است [۴]. در روش اول به ازاء درجه عضویت‌های گوناگون ($0 \leq \alpha \leq 1$) - برشهای متناظر با هر پارامتر فازی ورودی بدست آورده می‌شود سپس با انجام اعمال جبری روی این α -برشها، α -برش متناظر با هر کات ست مینیمال بدست می‌آید. با انجام عملیات جبری روش α -برشهای کات ست‌های مینیمال، α -برشهای شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار و سیستم را می‌توان بدست آورد. اگر این کار به ازای α -برشهای مختلف انجام شود، توابع عضویت شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار و سیستم را می‌توان بدست آورد.

روش دوم که استفاده از عملیات جبری تقریبی روی اعداد فازی است، هنگامی قابل استفاده است که نرخهای خرابی و تعمیرات تجهیزات به صورت اعداد فازی دوزنقه‌ای (مثلثی) باشند با انجام عملیات تقریبی حسابی روی اعداد فازی می‌توان شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار و سیستم را بدست آورد. عملیات تقریبی روی دو عدد فازی مثبت مثلثی $\vec{A} = (a_1, a_2, a_3)$ و $\vec{B} = (b_1, b_2, b_3)$ که در این مقاله استفاده خواهد شد، به صورت زیر است.

جمع

$$\vec{A} + \vec{B} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$$

(۴)

تفریق

$$\vec{A} \ominus \vec{B} = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1)$$

(۵)

ضرب

$$\vec{A} \otimes \vec{B} \cong (a_1 \cdot b_1, a_2 \cdot b_2, a_3 \cdot b_3)$$

(۶)

تقسیم

$$\vec{A} \oslash \vec{B} \cong (a_1/b_3, a_2/b_2, a_3/b_1)$$

(۷)

محاسبه هزینه خروج

برای محاسبه هزینه در شبکه‌های توزیع راه‌های مختلفی وجود دارد، یکی از راه‌های عملی و سریع برای محاسبه هزینه خروج روش VBDR است [۳]. در این روش ابتدا شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار محاسبه شده و سپس با ترکیب این شاخصها با تابع ضرر مشترک $SCDF^1$ ، از رابطه (۸) هزینه خروج

با توضیحات ذکر شده مشخص می‌شود که تنها با استفاده از نظریه فازی می‌توان عدم قطعیت‌های بار را مدل کرد. یک تابع عضویت مناسب برای مدل کردن بار نقاط تابع عضویت دوزنقه‌ای است.

در مرحله طراحی نیز به علت عدم قطعیت‌هایی که در پیش‌بینی بار، تغییر شرایط محیطی، نرخ رشد بار و ... وجود دارد بایستی بار را با استفاده از مجموعه‌های فازی مدل کرد و مدل‌های احتمالی قادر به انجام این امر نیستند [۸].

پارامترهای فازی ورودی و مدل مارکف

روابطی که در مطالعات قابلیت اطمینان کلاسیک بدست آمده‌اند، بر مبنای مدل مارکف می‌باشند و این روابط برای مقدار متوسط متغیرها بدست آمده‌اند. از طرف دیگر وقتی پارامترهای ورودی (نظیر نرخهای خرابی تجهیزات و سرویس آنها) فازی می‌شوند، توزیعهای فازی که برای آنها در نظر گرفته می‌شود، توزیع فازی مقدار متوسط آنهاست. بنابراین وقتی پارامترهای ورودی فازی شوند، روابطی که بر مبنای مدل مارکف بدست آمده‌اند قابل استفاده خواهد بود و توزیع فازی شاخصهای قابلیت اطمینان بدست خواهد آمد. نکته‌ای که در محاسبات شاخصهای فازی باید مدنظر داشت این است که می‌توان از عدم قطعیت‌هایی که توسط برخی از فرمولها در نتایج ظاهر می‌شوند، جلوگیری کرد. مثلاً می‌توان به جای رابطه (۲)، زمان لازم برای تعمیر دو تجهیز موازی، از رابطه (۳) استفاده کرد.

$$r = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} \quad (2)$$

$$r = (r_1^{-1} + r_2^{-1})^{-1} \quad (3)$$

الگوریتم محاسبه قابلیت اطمینان

دیده شد که اگر نرخهای خرابی و تعمیرات تجهیزات فازی باشند، می‌توان از روابط بدست آمده بر مبنای مدل مارکف استفاده کرد. برای محاسبه شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار و سیستم می‌توان از روش آنالیز مد خطا استفاده کرد. بدین ترتیب که ابتدا مدهای خطایی که سبب قطع سرویس نقاط بار می‌شوند، تعیین کرد، آنگاه با استفاده از روابط بدست آمده بر مبنای مدل مارکف، شاخصهای فازی متناظر با هر کات ست مینیمال را محاسبه نمود و در نهایت شاخصهای قابلیت اطمینان فازی نقاط بار و سیستم را بدست آورد. برای محاسبه شاخصهای فازی متناظر با هر کات ست

مجموعه \bar{A} پیوسته است Σ به انتگرال تبدیل می شود.

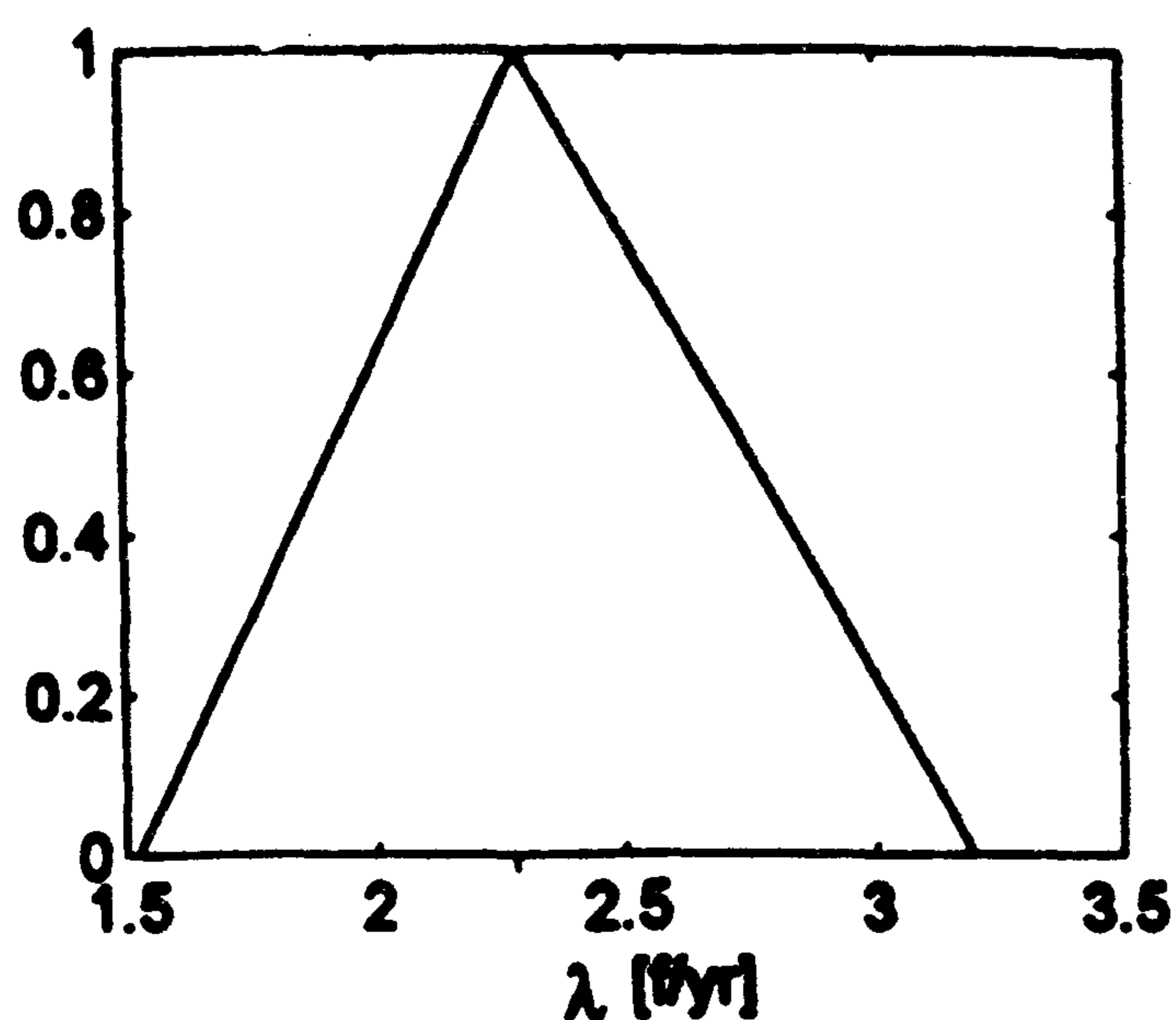
مطالعات عددی

شبکه انتخاب شده برای مطالعات عددی، قسمتی از شبکه توزیع شمالشرق تهران (منطقه الهیه) است. شکل (۱) در ضمیمه یک، این شبکه را نشان می دهد. نرخهای خرابی و تعمیرات تجهیزات با استفاده از آمارهای موجود، شبکه های مشابه، نظر افراد خبره و متخصص و روشهای ترکیبی بدست آمده اند. این مقادیر در جدول (۱) ضمیمه یک درج شده اند. جدول (۲) در ضمیمه یک تابع ضرر مشتریها را نشان می دهد. با توجه به تغییرات بار در فصول مختلف و روشهای تخصیص بار، برای بارهای نقاط یک عدد فازی ذوزنقه ای در نظر گرفته شده است این مقادیر در جدول (۳) در ضمیمه یک درج شده اند.

برای محاسبه شاخصهای نقاط بار، سیستم و هزینه خروج نقاط بار، سیستم نرم افزاری تهیه شده است که در زیر نتایج مطالعه روی پست ۶۳W الهیه بیان میشود.

شاخصهای فازی نقاط بار و سیستم

شاخصهای فازی نقاط بار و سیستم با دو روش محاسبه می شوند. روش اول: مبتنی بر محاسبات فاصله اطمینان است و روش دوم مبتنی بر محاسبات تقریبی روی اعداد فازی. شکل (۳) شاخصهای یک نمونه از نقاط بار سیستم را نمایش می دهد (نقطه بار ۳). همانطور که دیده می شود، هر شکل شامل دو نمودار است. نمودار پیوسته مبتنی بر روش یکم است و نمودار نقطه چین مبتنی بر روش دوم می باشد.



شکل (۲-الف): شاخص نرخ خرابی.

در هر یک از نقاط بار بدست می آید.

$$IC_i = \lambda_i \cdot \gamma_i L_i \times CIC_i \quad (8)$$

در رابطه (۸) λ_i و γ_i شاخص قابلیت اطمینان نقاط بار، زمان خروج، L_i مقدار متوسط بار و CIC_i هزینه قطعی مشترک برحسب $\$/kw/min$ است. با بدست آمدن هزینه خروج در هر یک از نقاط بار، می توان هزینه خروج سیستم را بدست آورد.

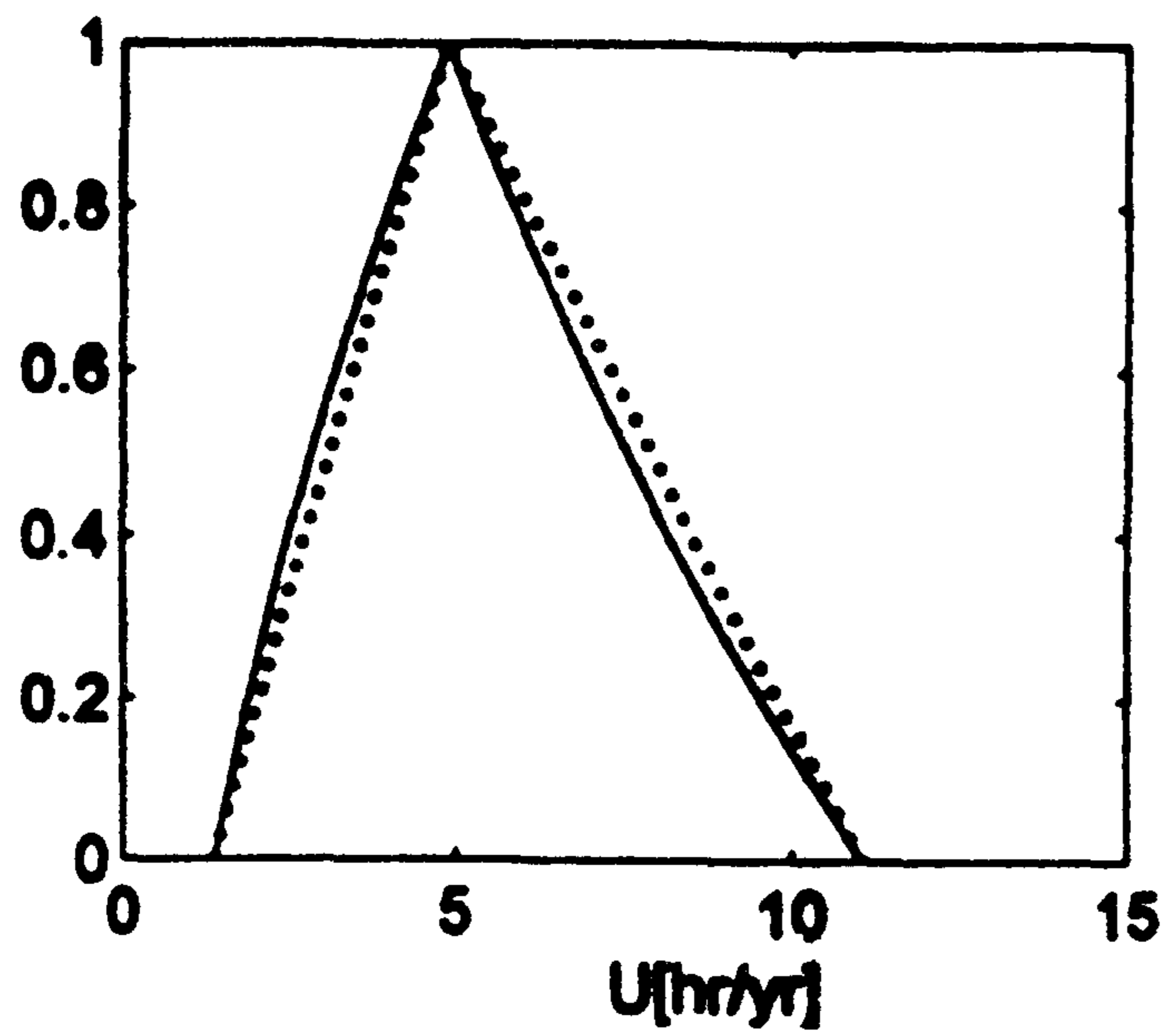
محاسبه هزینه خروج با فرض فازی بودن شاخصها

اگر شاخصهای قابلیت اطمینان نقاط بار فازی فرض شوند، به دو صورت می توان، هزینه خروج را محاسبه کرد. روش اول اینست که هزینه خروج را - با روشهایی که در ادامه معرفی می شوند - دفازه کرد سپس طبق روال معمول محاسبات را انجام داد. در روش دوم برای هزینه خروج هر یک از نقاط بار یک تابع عضویت بدست آورده می شود. این روش مبتنی بر محاسبات فاصله اطمینان است. بدین ترتیب که به ازای هر درجه عضویت، α برشهای اعداد فازی بدست می آیند و متناظر با هر α برش زمان خروج (γ)، یک فاصله اطمینان نیز برای CIC_i بدست می آید (اگر به ازای $\alpha = \alpha$ برش $[\gamma_1, \gamma_2]$ برای γ_1 بدست آید، فاصله اطمینان CIC_i به صورت $[C_p, C_{1p}]$ است که C_p متناظر با γ_1 و C_{1p} متناظر با γ_2 است). اگر این کار به ازای α برشهای مختلف انجام شود، تابع عضویت هزینه خروج در هر یک از نقاط بار بدست می آید. با تعیین هزینه خروج بار، می توان هزینه های خروج هر یک از فیدرها و کل سیستم را حساب کرد.

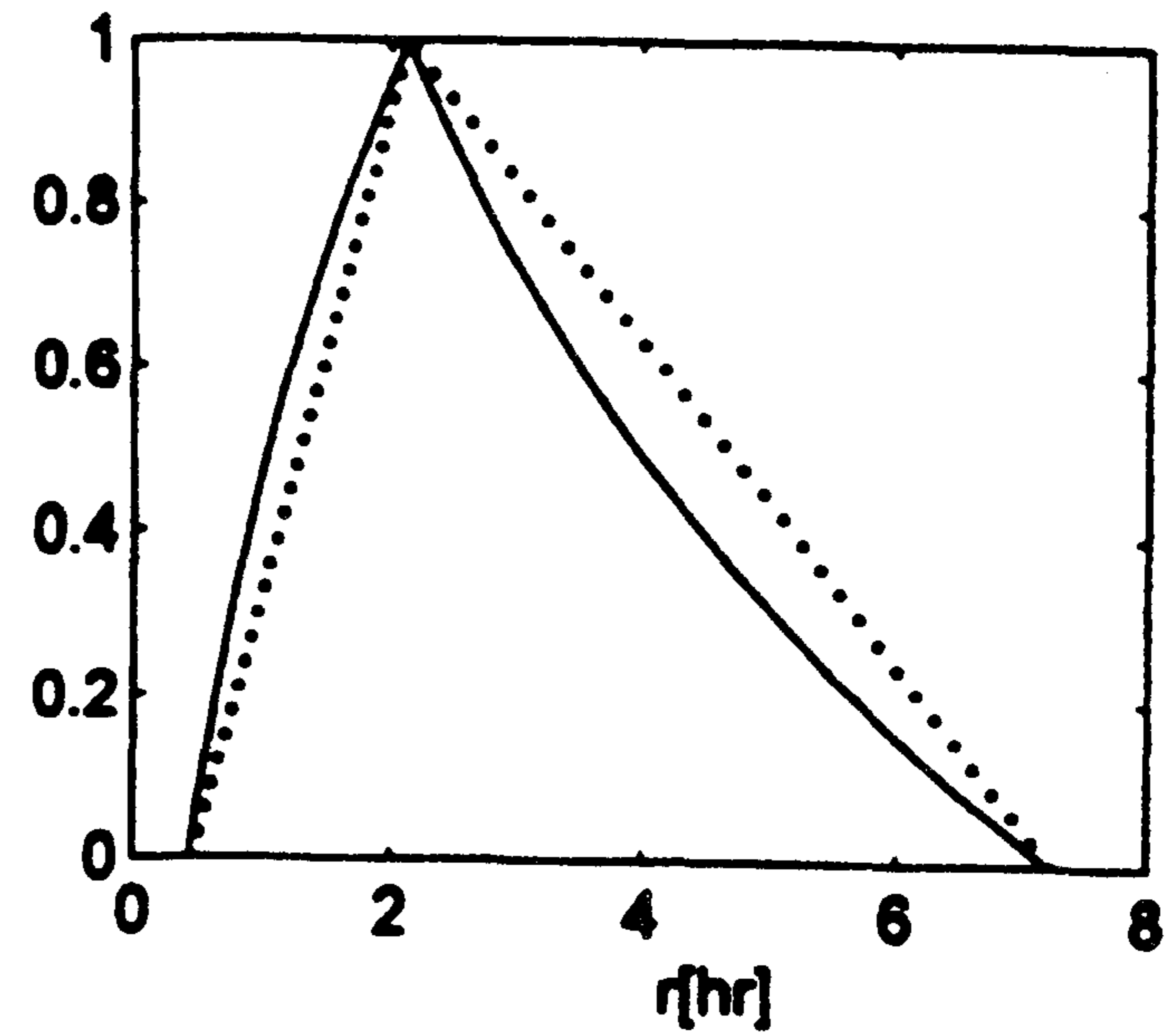
دفازه کردن

اگر چه داشتن توزیعهای فازی شاخصهای قابلیت اطمینان و هزینه های خروج، دید ونگرش خوبی از وضعیت سیستم را - چه در مرحله طراحی و چه در مرحله بهره برداری - ارائه می دهد، اما اگر خواسته شود دو طرح مختلف یا دو حالت از یک شبکه را باهم مقایسه کرد. یا حتی اگر خواسته شود از شاخصهای قابلیت اطمینان تک مقداری^۱ در مباحث بعدی استفاده شود، بایستی شاخصهای فازی را دفازه کرد. روشی که در اینجا استفاده می شود، روش یاگر است. این روش برای یک مجموعه فازی گسسته \bar{A} چنین است: ابتدا α - برشهای مجموعه فازی \bar{A} بدست می آید و اگر به ازای $\alpha = \alpha$ برش $[a_1, a_2]$ بدست آید، مقدار $a_\alpha = \frac{a_1 + a_2}{2}$ را به این α برش نسبت داده می شود. مقداری که از رابطه $a^* = \sum_{\alpha=0} a_\alpha \cdot \alpha$ بدست می آید، مقدار مطلوب است. در حالیکه

شده است. الف) و قتیکه بارها مقادیر فازی هستند. (شکل (۳-الف))، ب) و قتیکه بارها مقادیری قطعی هستند (شکل (۳-ب)).



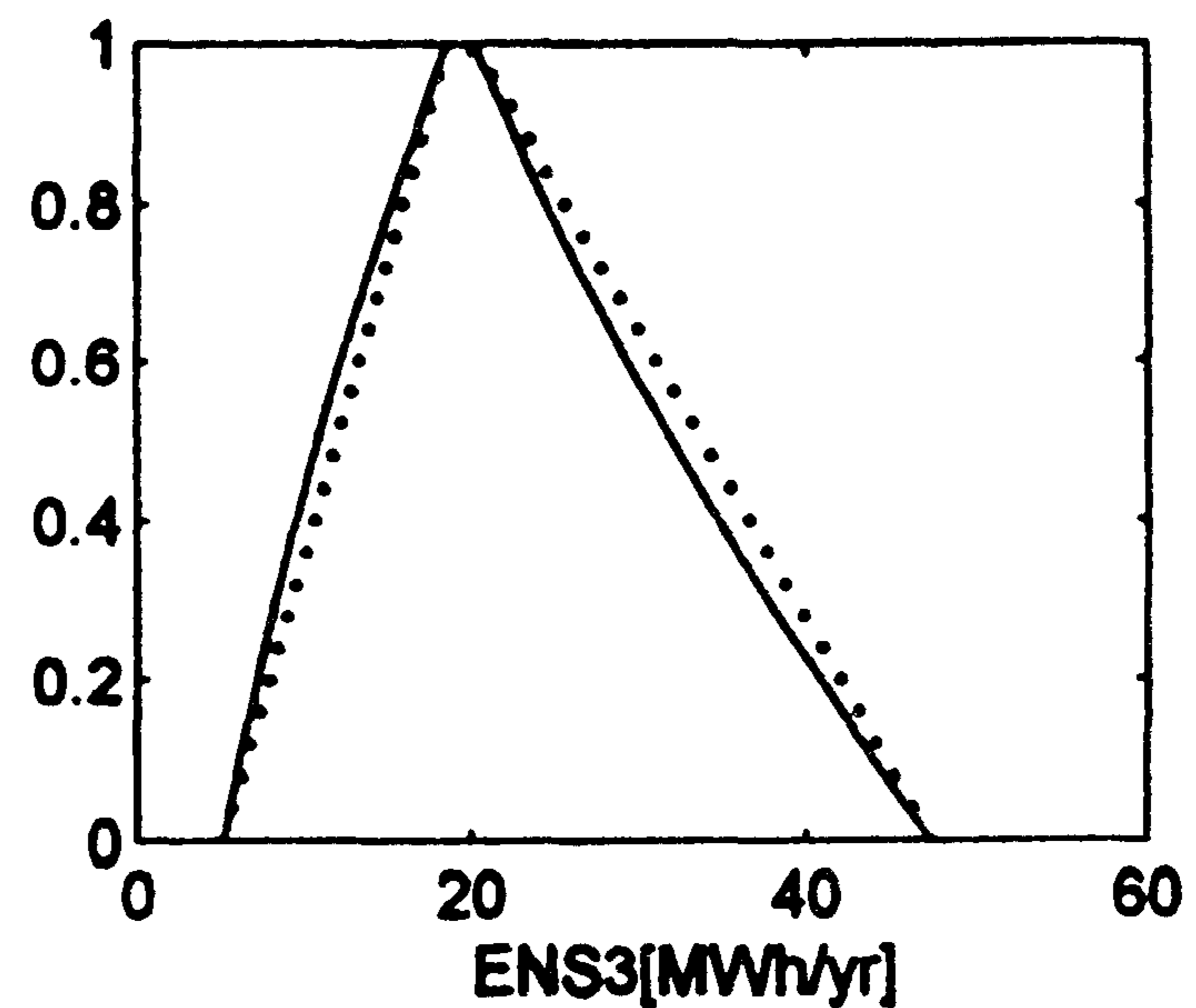
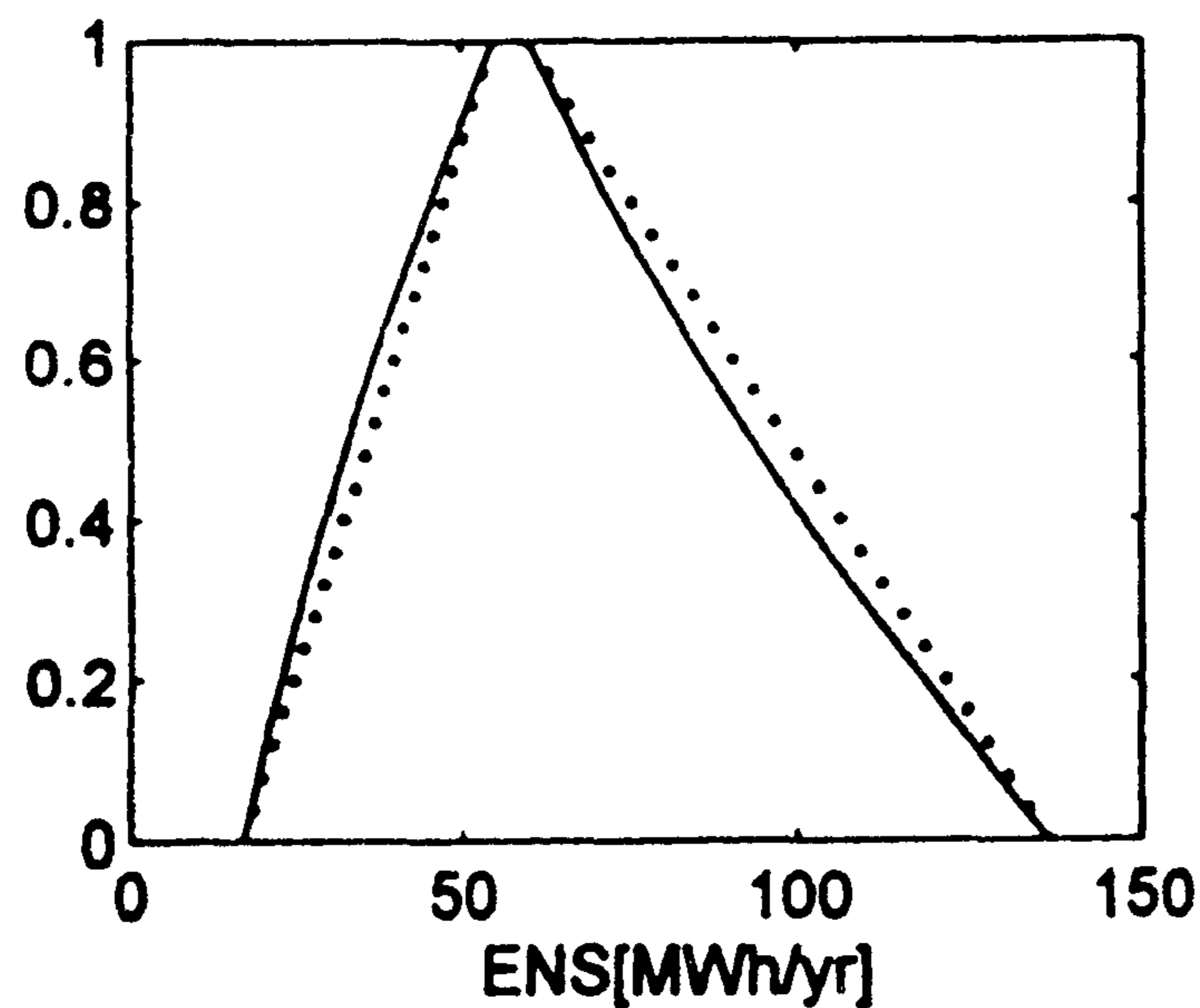
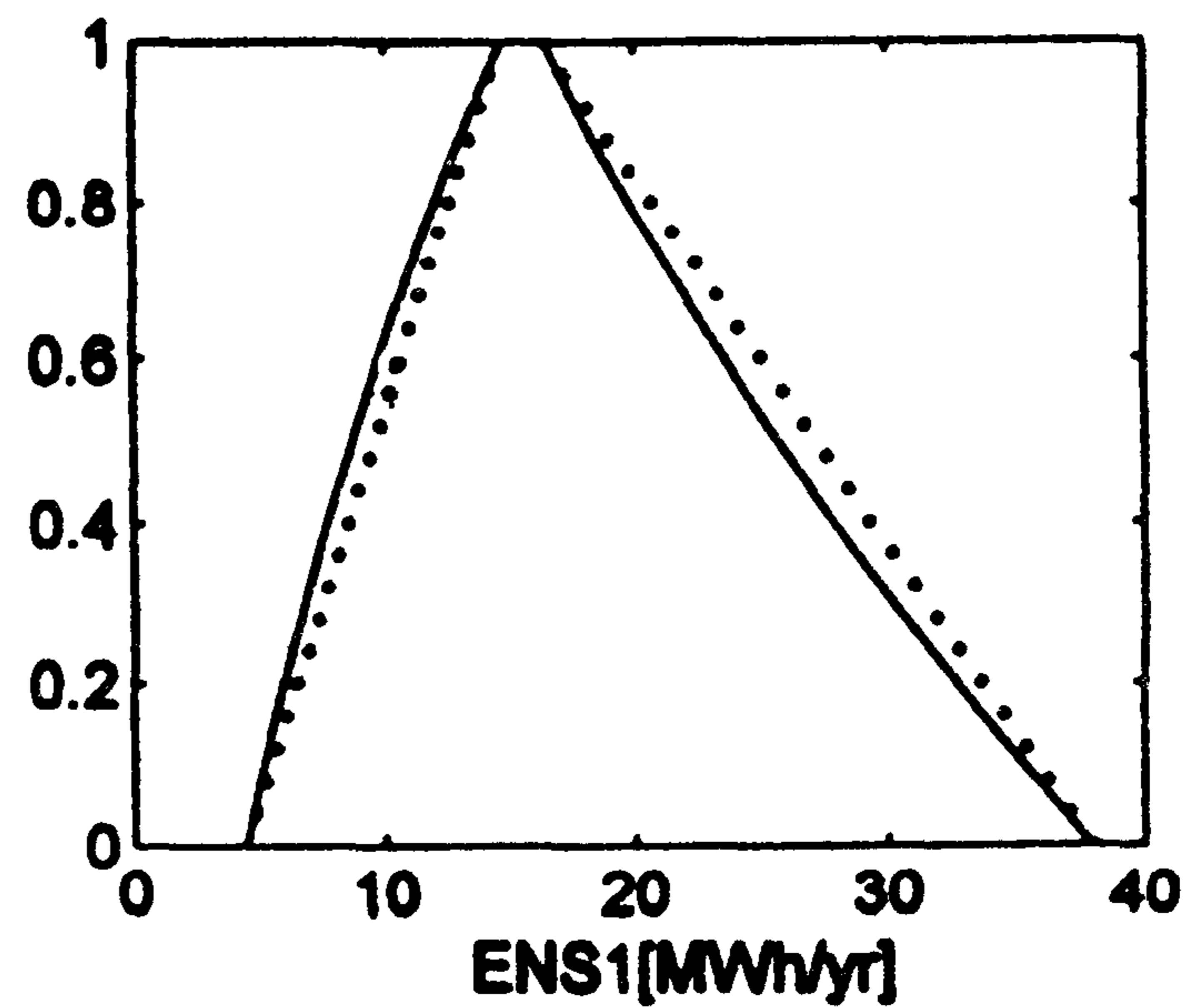
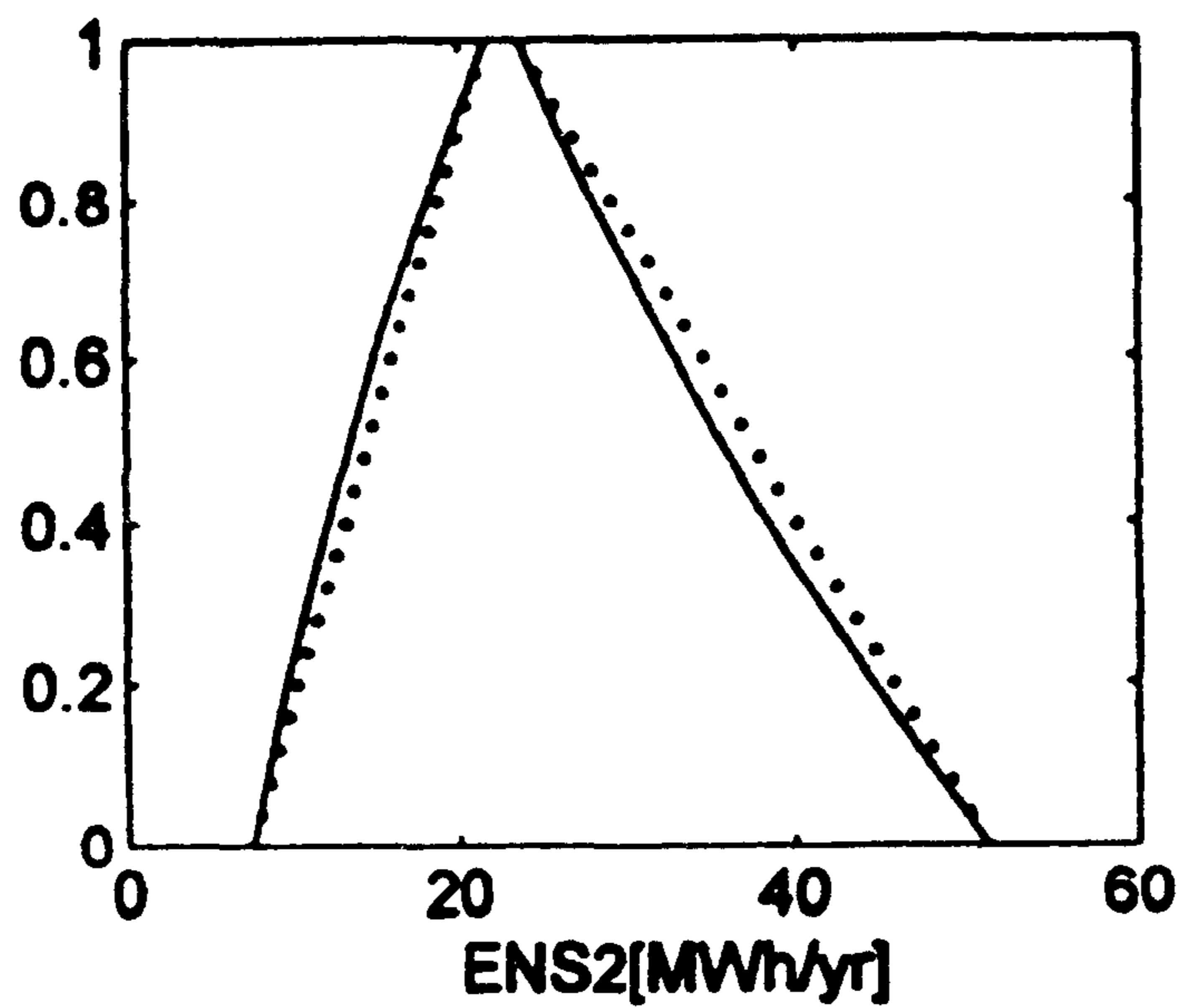
شکل (۲-ج): شاخص عدم تأمین بار .
شکل ۲: شاخصهای نقطه بار ۳.



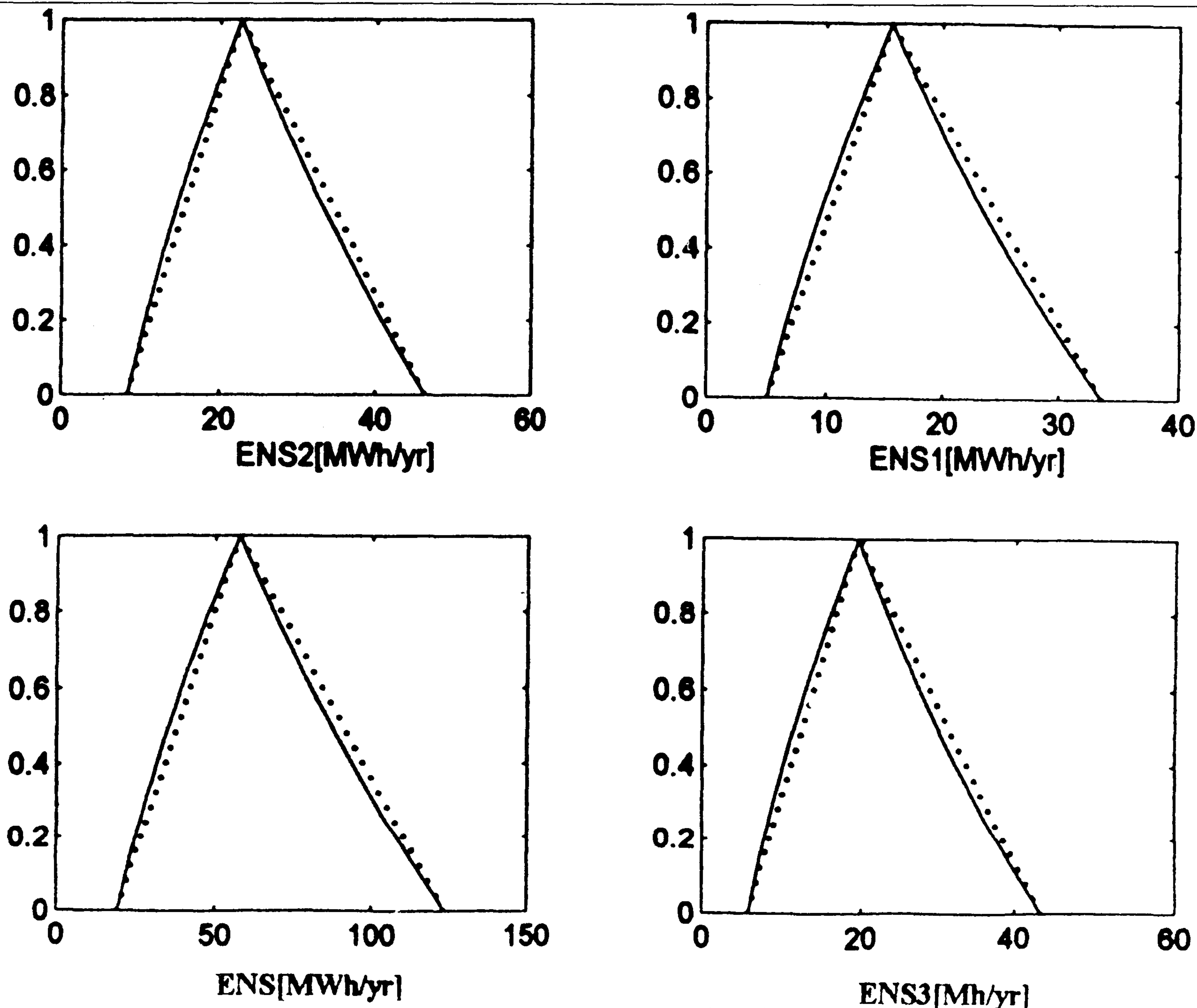
شکل (۲-ب): شاخص زمان تعمیر.

شاخصهای سیستم

به علت در دسترس نبودن تعداد مشترکین در هر یک از نقاط بار، تنها شاخص ENS محاسبه شده است. شکل (۳) شاخص ENS سیستم را نشان می‌دهد این شاخص در دو حالت محاسبه



شکل (۳-الف): شاخصهای ENS با بار فازی.



شکل (۳-ب): شاخصهای ENS با بار قطعی.

جدول ۱: مقادیر فازی تقریبی و دفازه شاخصهای سیستم و نقطه بار ۳.

شاخصها	مقادیر فازی تقریبی			yager	yager*
$\lambda(3)[f/yr]$	(۱/۵۲۲	۲/۲۹۱۲	۳/۲۰۴۸)	۳/۲۳۷۳	۲/۲۷۳۱
$U(3)[hr/yr]$	۱/۳۹۷۳	۴/۸۹۰۶	۱۱/۰۱۸۴)	۵/۵۴۹۲	۵/۳۲۹۸
$\lambda(3)[hr]$	۰/۴۳۶	۲/۱۳۴۵	۷/۲۳۹۴)	۲/۹۸۶۱	۲/۴۱۱۲
ENS [MWh/yr]	۱۷/۲۹	۵۵/۰۴	۶۰/۴۲ ۱۳۶/۵۹)	۶۷/۷۳	۶۴/۶۵۲
ENS* [MWh/yr]	(۱۹/۳۶	۵۷/۷۴	۱۲۳/۳۹)	۶۴/۳۳	۶۲/۲۸۳

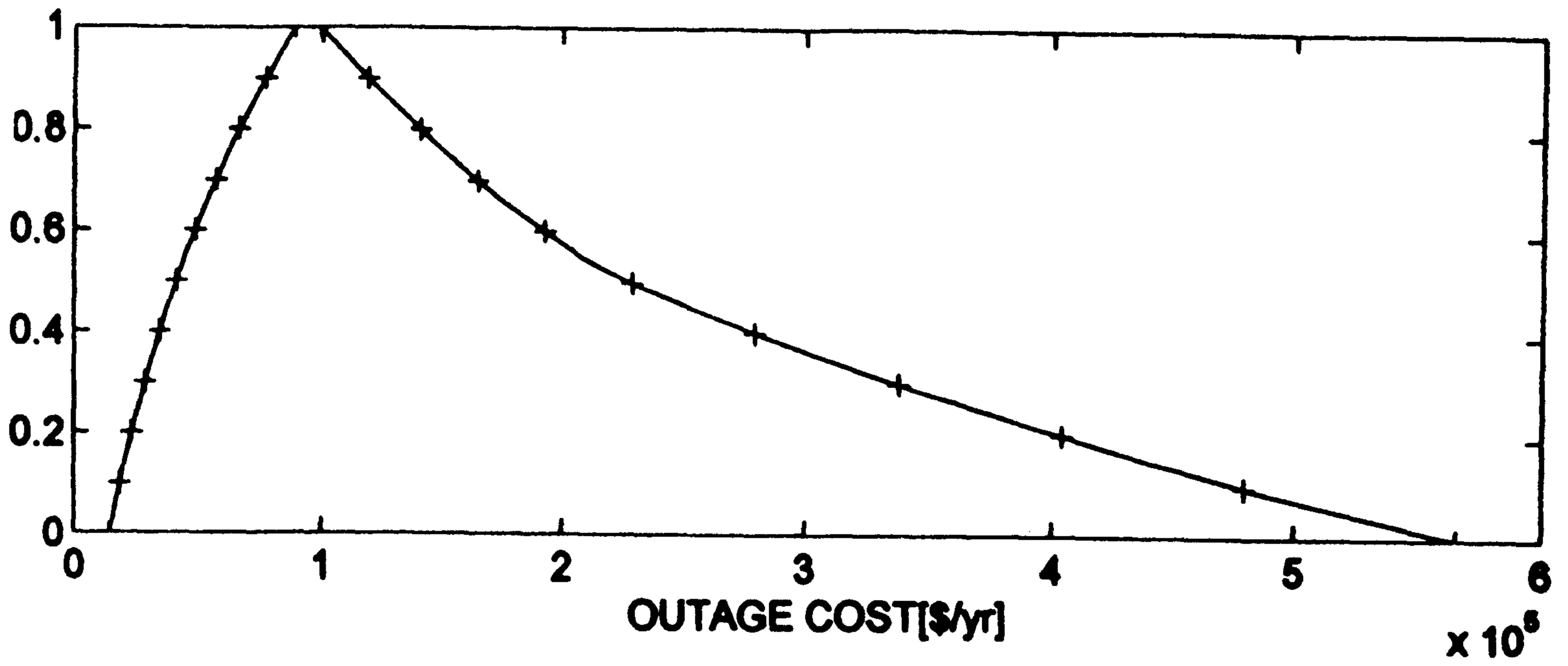
* yager = مقدار دفازه شده شاخصها - براساس روش یاگر - وقتیکه شاخصها مطابق روش اول محاسبه شوند.

* ENS = شاخص فازی ENS است وقتیکه مقادیر بار قطعی باشند.

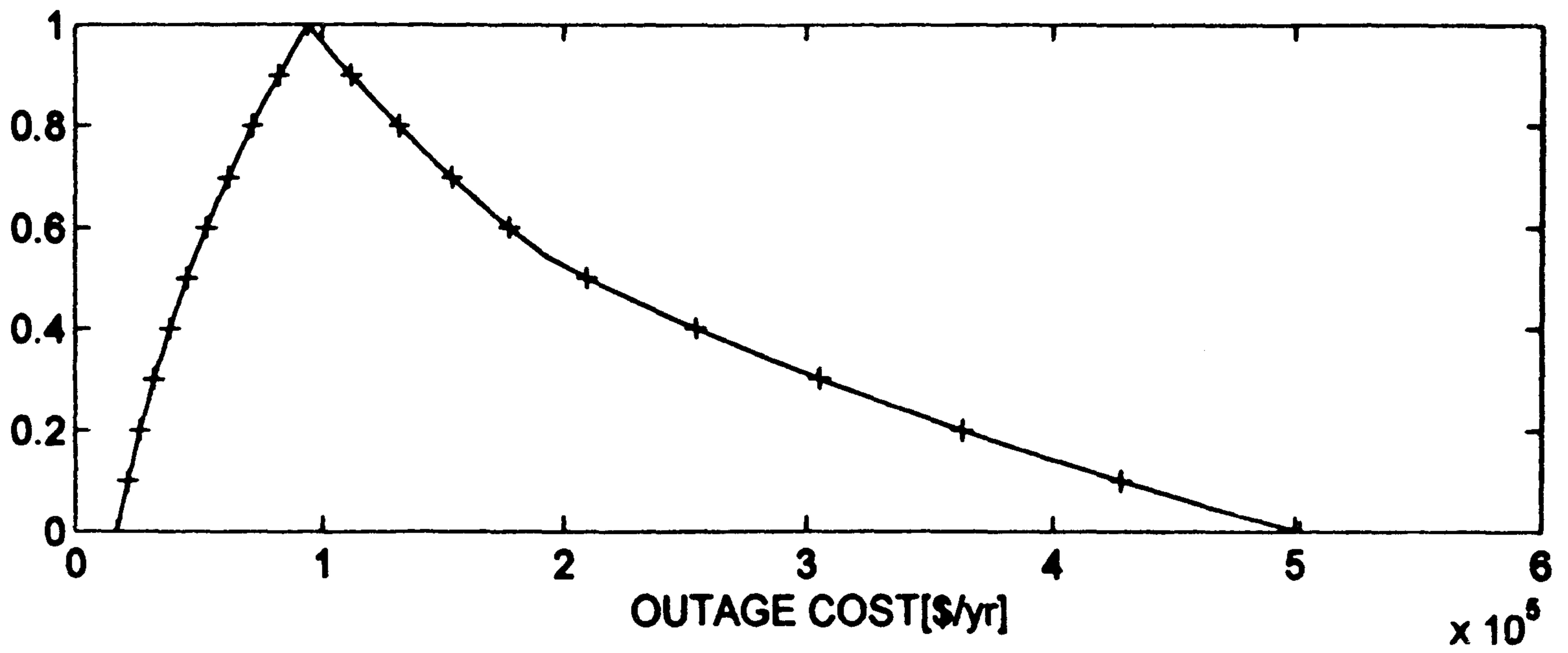
هزینه خروج

شکل ۴، ۵، ۶ و ۷ به ترتیب تابع عضویت هزینه‌های خروج فیدر f_1 ، f_2 ، f_3 و سیستم را در دو حالت با بار فازی و قطعی نشان می‌دهد.

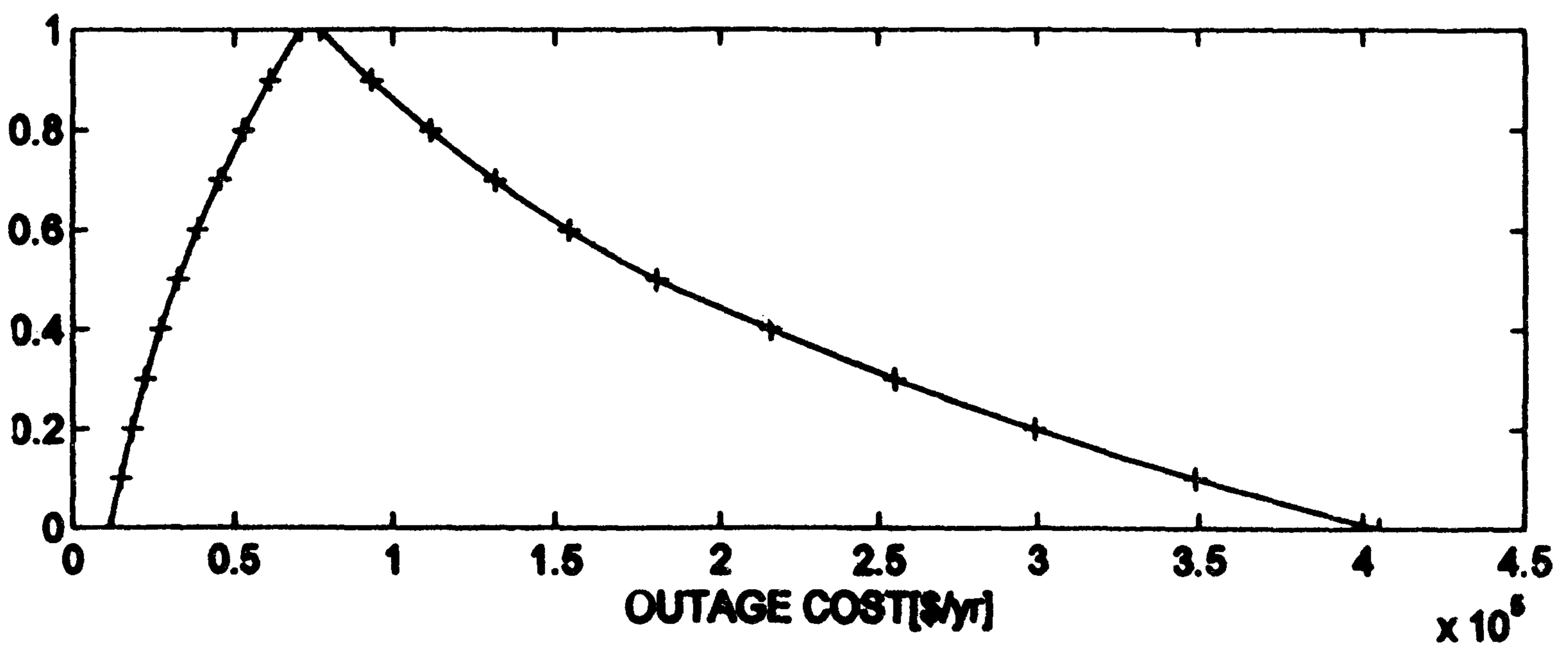
جدول (۱)، مقادیر فازی تقریبی (براساس روش دوم) و دفازه شده (براساس روش یاگر) شاخصهای نقطه بار ۳ و شاخص ENS سیستم را نشان می‌دهد.



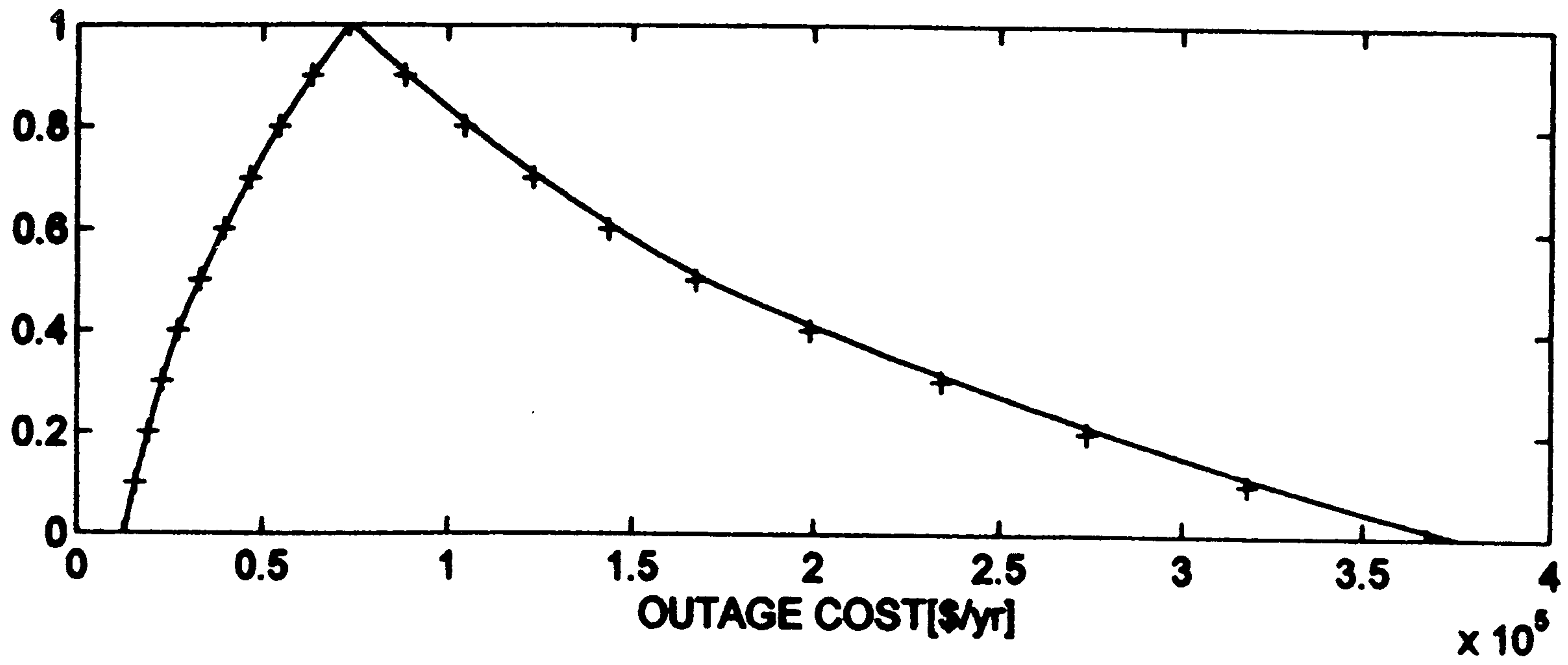
شکل (۴-الف): تابع عضویت هزینه خروج فیدر f_1 با بار فازی.



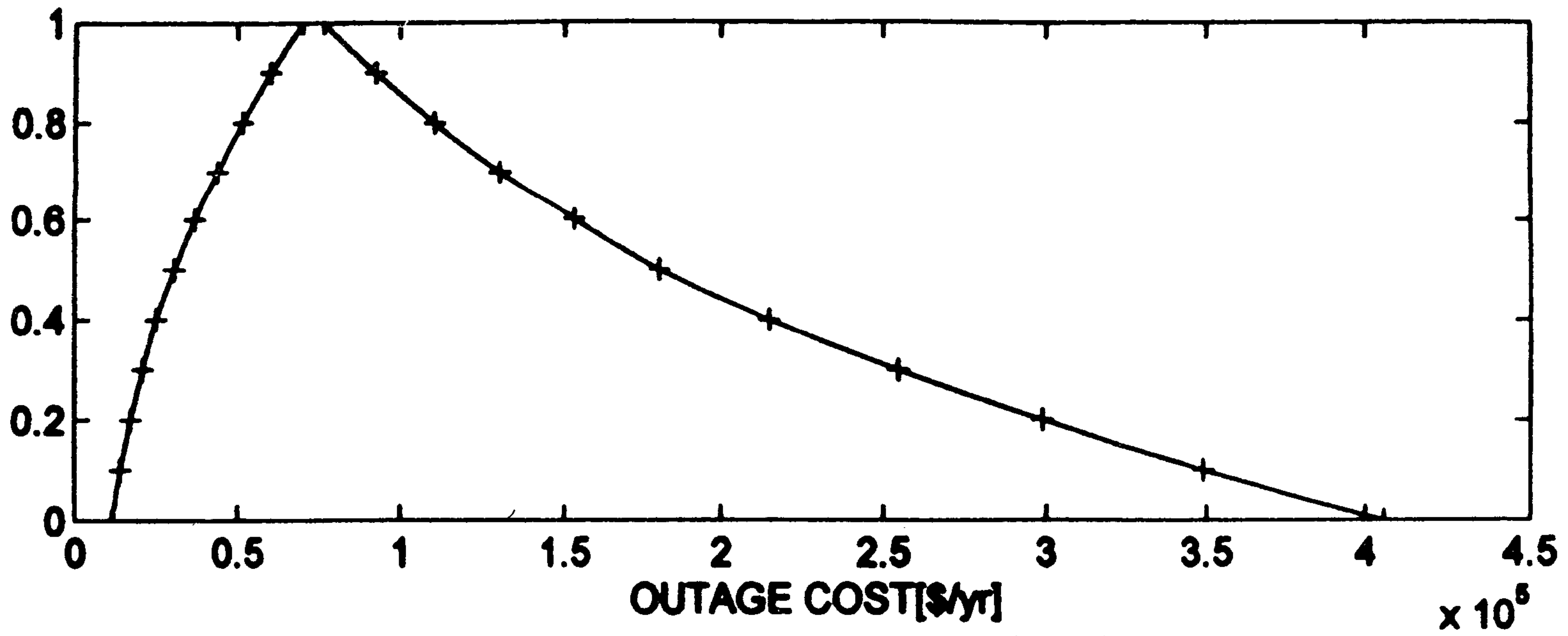
شکل (۴-ب): تابع عضویت هزینه خروج فیدر f_2 با بار قطعی.
شکل ۴: تابع عضویت هزینه خروج فیدر f_1 .



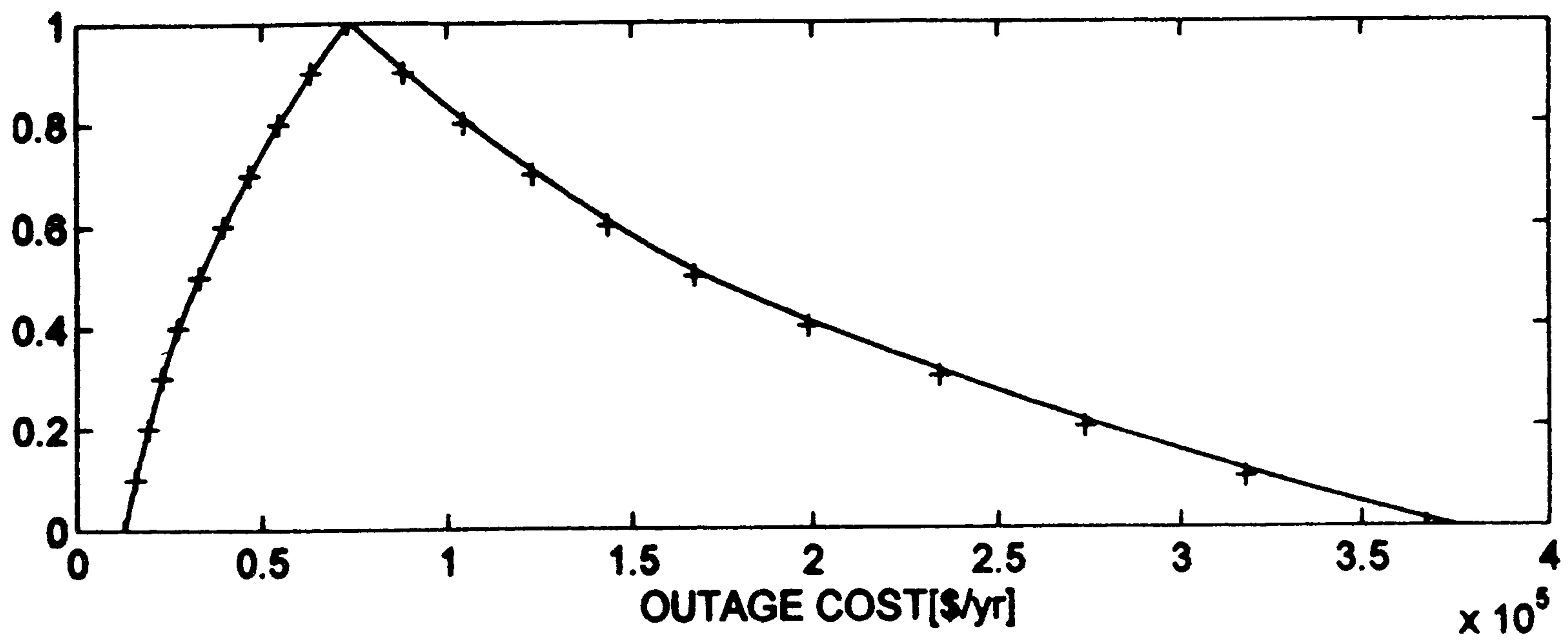
شکل (۴-الف): تابع عضویت هزینه خروج فیدر f_3 با بار فازی.



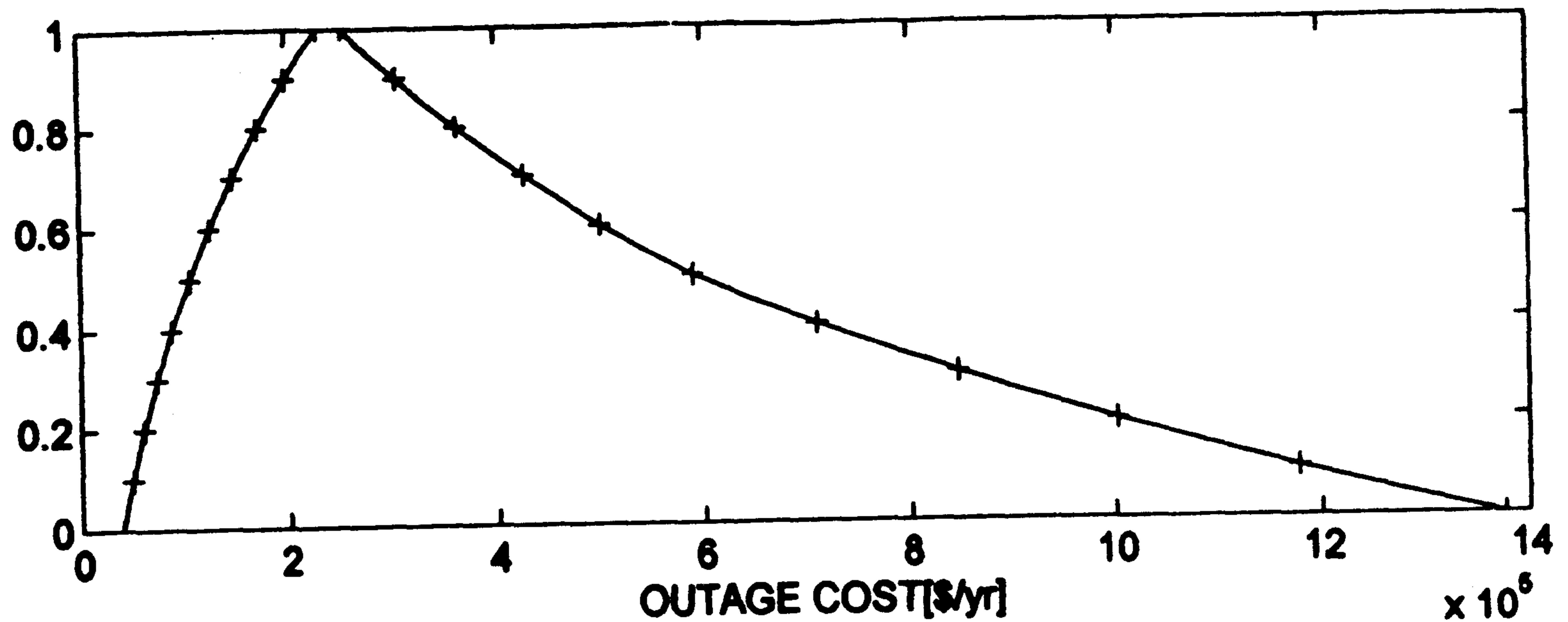
شکل (۵-ب): تابع عضویت هزینه خروج فیدر f_2 با بار قطعی.
 شکل ۵: تابع عضویت هزینه خروج فیدر f_2 .



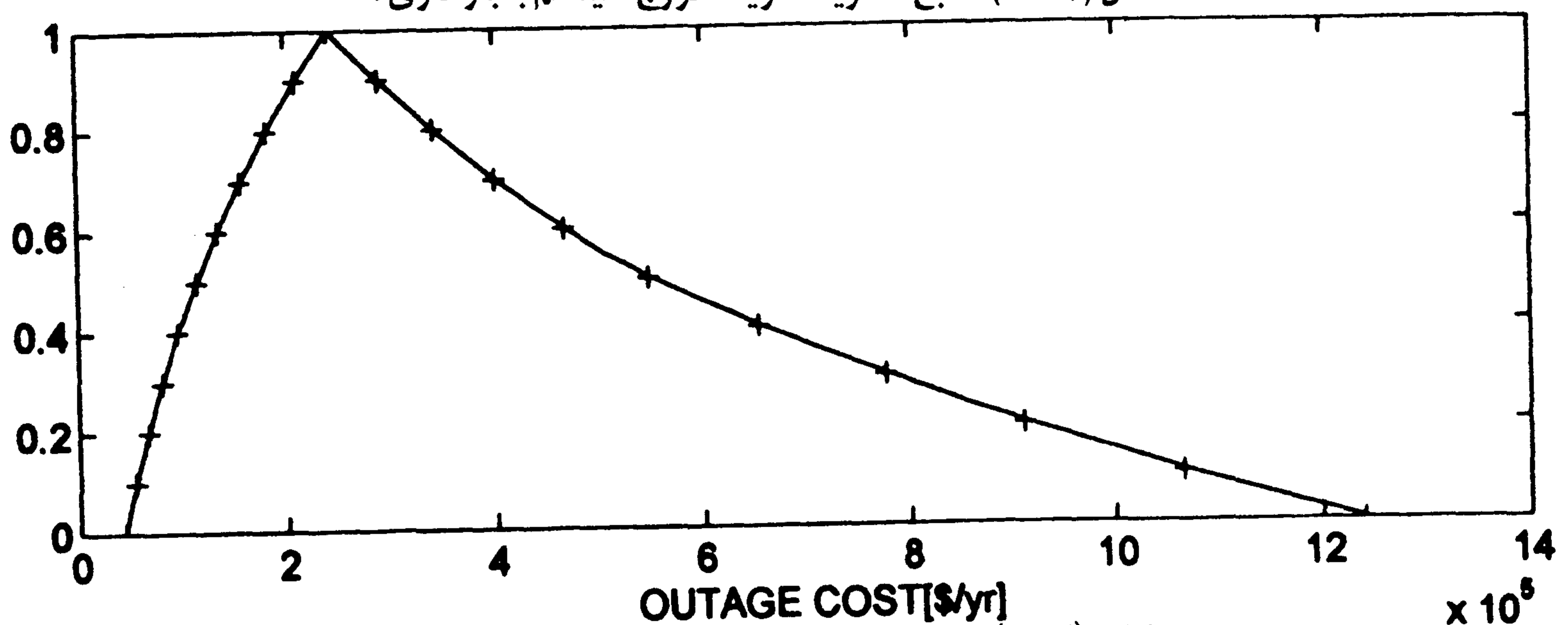
شکل (۶-الف): تابع عضویت هزینه خروج فیدر f_3 با بار فازی.



شکل (۶-ب): تابع عضویت هزینه خروج فیدر f_3 با بار قطعی.
 شکل ۶: تابع عضویت هزینه خروج فیدر f_3 .



شکل (۷-الف): تابع عضویت هزینه خروج سیستم با بار فازی.



شکل (۷-ب): تابع عضویت هزینه خروج سیستم با بار قطعی.

شکل ۷: تابع عضویت هزینه خروج سیستم.

جدول ۲: مقادیر دفازه شده هزینه‌های خروج فیدرها و سیستم.

	هزینه خروج f_1 \$/yr	هزینه خروج f_1^* \$/yr	هزینه خروج f_2 \$/yr	هزینه خروج f_2^* \$/yr	هزینه خروج f_3 \$/yr	هزینه خروج f_3^* \$/yr	هزینه خروج سیستم \$/yr	هزینه خروج سیستم* \$/yr
yager	$1/5634 \times 10^{+5}$	$1/4601 \times 10^{+5}$	$1/1834 \times 10^{+5}$	$1/1184 \times 10^{+5}$	$1/927 \times 10^{+5}$	$1/1333 \times 10^{+5}$	$3/9394 \times 10^{+5}$	$3/7118 \times 10^{+5}$
yager**	$127885/3$	$127885/3$	$108970/7$	$108970/7$	$102892/6$	$102892/6$	$339748/6$	$339748/6$

مقادیری قطعی هستند. وقتیکه بارها فاز باشند، هزینه‌های خروج فیدر f_1 ، f_2 ، f_3 ، f_1^* ، f_2^* ، f_3^* ، f_1 و سیستم، $5/77\%$ نسبت به وقتیکه بارها اعدادی قطعی هستند، افزایش نشان می‌دهد.

هزینه‌های خروج فیدرها، هنگامیکه تابع عضویت آنها بدست آید و سپس آنها را دفازه کرد، برای f_1 $18/2\%$ ، برای f_2 $7/92\%$ ، برای فیدر f_3 $13/7\%$ و برای سیستم $13/75\%$ نسبت به حالتیکه از مقادیر دفازه شده L و U برای محاسبه هزینه‌های خروج

جدول (۲) نیز مقادیر دفازه شده هزینه خروج فیدرها و سیستم را نشان می‌دهد.

در محاسبه هزینه خروج (ردیف $yager^{**}$) از شاخصهای دفازه شده L ، U استفاده شده است.

شاخصهای ستاره‌دار هزینه‌های خروج است وقتیکه بارها مقادیر قطعی هستند.

مقدار دفازه شده شاخص ENS، وقتیکه بار فازی است $3/8\%$ بیشتر از مقدار دفازه شده شاخص ENS است - وقتیکه بارها

نتیجه گیری

در این مقاله، کاربرد نظریه مجموعه‌های فازی در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی پیشنهاد شد و سپس مبنائی برای بدست آوردن توابع عضویت مناسب با توجه به منابع اطلاعاتی در دسترس برای پارامترهای ورودی پیشنهاد گردید. همچنین جهت کاربرد اعداد فازی در ارزیابی قابلیت اطمینان، روابط مربوطه وقتی که پارامترهای ورودی فازی باشند نیز بدست آمده و در نهایت شاخصهای حاصله با روش فازی و خروج مقایسه شدند. در این محاسبات همچنین هزینه خروج با ورودیهای فازی مورد بررسی قرار گرفته و در انتها نیز مطالعات عددی بر روی شبکه شمالشرق تهران انجام شد که نتایج حاصله کارائی این روش را در مورد شبکه‌ای با اطلاعات محدود نشان می‌دهد.

استفاده شود، دارای تغییرات می‌باشند. از مقایسه‌های انجام شده می‌توان این نتایج را بدست آورد.

- هنگامیکه بار به صورت فازی باشد و دارای تغییرات کمی باشد، اثر چندانی روی شاخصهای فازی سیستم و هزینه‌های خروج سیستم نمی‌گذارد.

- اگر از مقادیر دفازه شده شاخصهای μ_L و μ_U برای محاسبه هزینه‌های خروج استفاده شود، نتایج بدست آمده در مقایسه با مقادیر دفازه شده شاخصهای فازی هزینه‌های خروج تغییرات زیادی را نشان می‌دهد. بنابراین استفاده از مقادیر دفازه شده μ_L و μ_U برای محاسبه هزینه‌های خروج توصیه نمی‌شود.

- نتایج بدست آمده بر مبنای روش دوم از دقت قابل قبولی برخوردارند و چون حجم محاسبات در این روش نسبت به روش دیگر کمتر است، این روش توصیه می‌شود.

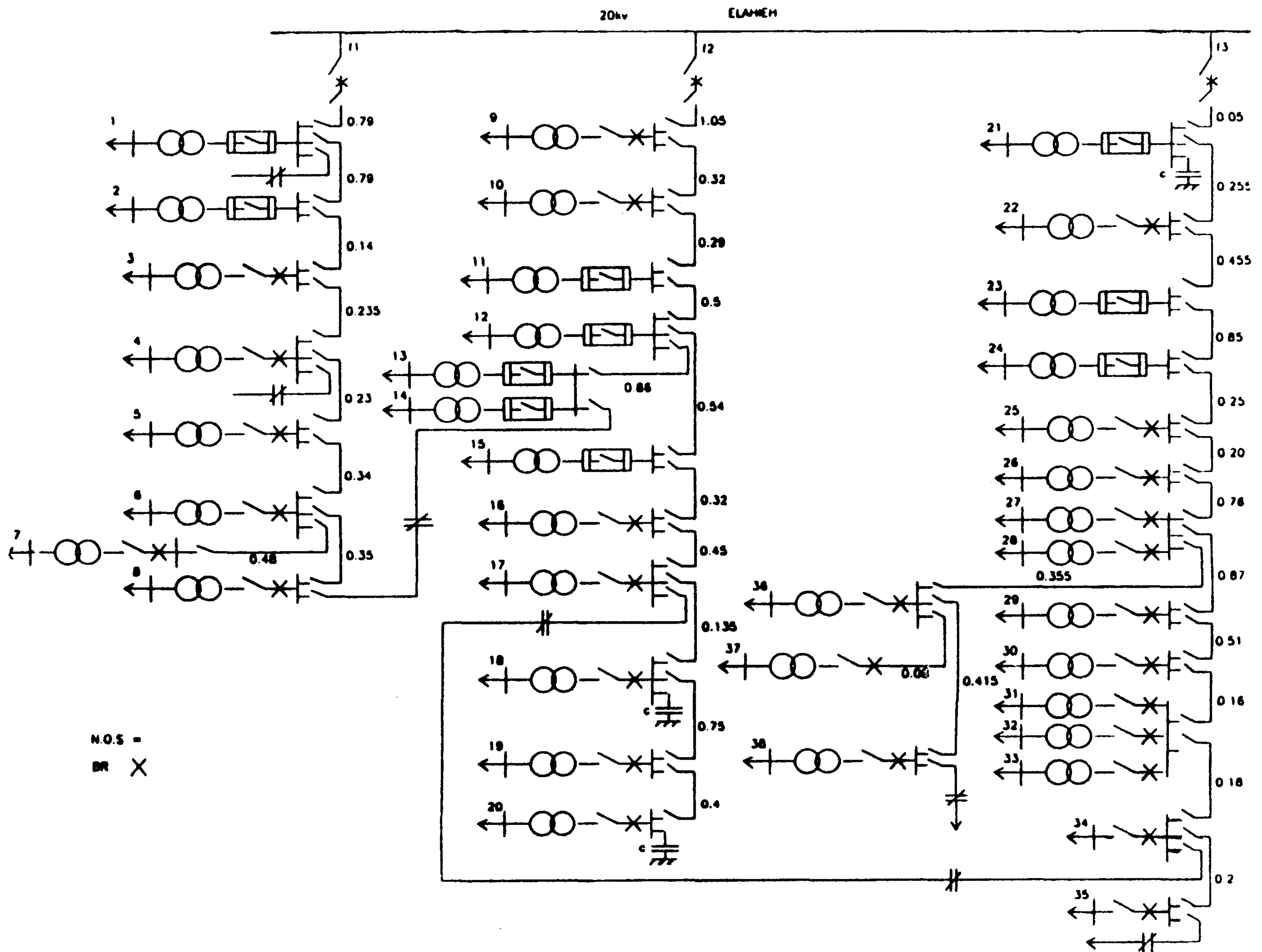
مراجع

- 1 - Bardossy, A., Duckstein, L. and Bogardi, I. (1993). "Combining of fuzzy numbers representing expert opinions." *Fuzzy Sets and Systems* (57), PP. 173-181.
- 2 - Chen, C. H. and Mon, D. L. (1993). "Fuzzy system reliability analysis by interval of confidence." *Fuzzy Sets and Systems* (56), PP. 29-35.
- 3- Chen, R., Allen, K. and Billinton, R. (1995). "Value-based distribution reliability assessment and planning." *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 10, No. 1, PP. 421-428.
- 4 - Chen, S. M. (1994). "Fuzzy system reliability analysis using fuzzy number arithmetic operations." *Fuzzy Sets and Systems* (64), PP. 31-38.
- 5 - Dabois, D. and Prade, H. (1980). *Fuzzy sets and systems*. Academic Press, London.
- 6 - El-Sayed, M. A. H., Seitz, T. H. and Montebaur, A. (1994). "Fuzzy sets for reliability assessment of electric power distribution systems." *Proceeding of 37th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Vol. 2, PP. 1491-1494.
- 7 - Haubrich, H. J., Seitz, T. H. and Bory, A. (1993). "Fuzzy sets in reliability analysis of power distribution systems." *1993 Expert Application to Power Systems*, Melbourne, PP. 215-217.
- 8 - Tome Sariva, J., Miranda, V. and Pinco, L. M. V. G. (1994). "Impact on some planning decision from a fuzzy modeling of power systems." *IEEE. Trans. on Power Systems*, Vol. 9, No. 2, PP. 819-825.
- 9 - Zadeh, L. (1965). "Fuzzy sets." *Information and Control*, No. 8, PP. 338-353.

۱۰ - حاتمی، ع. "کاربرد مجموعه‌های فازی در ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، (۱۳۷۷)، با راهنمایی دکتر محمودرضا حقی‌فام.

ضمیمه یک

«ساختار شبکه مورد مطالعه و اطلاعات مربوطه»



تذکر: اعداد نشان داده شده بر روی شاخه‌ها نشانگر فواصل باسها به km می‌باشند.

شکل ۱: قسمتی از شبکه شمال شرق تهران (منطقه الهیه).

جدول ۱: نرخ‌های خرابی، زمان سویچینگ و زمان تعمیر فازی عناصر.

احتمال عملکرد موفق تجهیزات حفاظتی	زمان تعمیر (hr)	زمان سویچینگ (hr)	نرخ خرابی (f/yr)	
	(۲۰ ۳۵ ۳۰)	(۱ ۱/۲۵ ۱/۵)	(۰/۳۶ ۰/۴۶ ۰/۵۶)	کابل
	(۵ ۷ ۹)	(۱ ۱/۲۵ ۱/۵)	(۰/۰۰۵ ۰/۰۰۸ ۰/۰۱۱)	سرکابل در طرف فشار قوی
	(۴ ۵ ۶)	(۱ ۱/۲۵ ۱/۵)	(۰/۰۰۵ ۰/۰۰۸ ۰/۰۱۱)	سرکابل در طرف فشار ضعیف
(۰/۹۴ ۰/۹۷ ۱)	(۱ ۱/۳ ۱/۵)	(۱ ۱/۲۵ ۱/۵)	(۰ ۰/۰۱ ۰/۰۲)	فیوز
(۰/۹ ۰/۹۵ ۱)	(۳ ۴ ۵)	(۱ ۱/۲۵ ۱/۵)	(۰ ۰/۰۰۵ ۰/۰۱)	کلید
	(۱۰۰ ۱۳۰ ۱۶۰)	(۱ ۱/۲۵ ۱/۵)	(۰/۰۵ ۰/۰۷ ۰/۰۹)	ترانسفورماتور
	(۳ ۴ ۵)	(۱ ۱/۲۵ ۱/۵)	(۰/۰۰۳ ۰/۰۰۴ ۰/۰۰۵)	باس بار
۱	(۲ ۲/۵ ۳)	(۱ ۱/۲۵ ۱/۵)	(۰/۰۰۷ ۰/۰۰۸ ۰/۰۰۹)	سکسیونر

نرخ خرابی کابل برحسب [f/yr.km] می‌باشد.

جدول ۲: هزینه قطعی مشترکین برحسب \$/kw.

مدت قطعی (دقیقه)	تجاری	مؤسسات	ساختمان اداری	خانگی	صنایع کوچک	صنایع بزرگ
۱	۰/۳۸۱	۰/۴۴	۴/۷۷۸	۰/۰۰۱	۱/۶۲۵	۱/۰۰۵
۲۰	۲/۹۶۹	۰/۳۶۹	۹/۸۷۸	۰/۹۳	۳/۸۶۸	۱/۵۰۵
۶۰	۸/۵۵۲	۱/۴۹۲	۲۱/۰۶۵	۰/۴۸۳	۹/۰۸۵	۲/۲۲۵
۲۴۰	۳۱/۳۱۷	۶/۵۵۸	۶۸/۸۳	۴/۹۱۴	۲۵/۱۶۳	۳/۹۶۸
۴۸۰	۸۳/۰۰۸	۲۶/۰۴	۱۱۹/۱۶	۱۵/۶۹	۵۵/۸۰۸	۸/۲۴۰

جدول ۳: مقادیر بار فازی و متوسط نقاط بار.

نقطه بار	L1 (KW)	L2 (KW)	L3 (KW)	L4 (KW)	Lav (KW)	نوع بار
۱	۳۰۹/۲۵۶	۳۳۵/۰۴۸	۳۷۳/۶۱۲	۳۹۹/۵۲۸	۳۵۴/۵۲۸	خانگی
۲	۲۴۴/۴۱۲	۲۶۴/۷۹۶	۲۹۵/۲۷۴	۳۱۵/۷۵۶	۲۸۰/۰۳۵	ساختمانهای اداری
۳	۳۰۹/۲۵۶	۳۳۵/۰۴۸	۳۷۳/۶۱۲	۳۹۹/۵۲۸	۳۵۴/۵۲۸	خانگی - تجاری
۴	۳۰۹/۲۵۶	۳۳۵/۰۴۸	۳۷۳/۶۱۲	۳۹۹/۵۲۸	۳۵۴/۵۲۸	تجاری
۵	۲۴۴/۴۱۲	۲۶۴/۷۹۶	۲۹۵/۲۷۴	۳۱۵/۷۵۶	۲۸۰/۰۳۵	تجاری
۶	۳۹۱/۵۵۸	۴۲۴/۲۱۴	۴۷۳/۰۴۱	۵۰۵/۸۵۴	۴۴۸/۶۳	خانگی - تجاری
۷	۲۹۴/۲۹۲	۱۳۸/۸۳۶	۳۵۵/۵۳۴	۳۸۰/۱۹۶	۳۳۷/۱۸۵	خانگی - اداری
۸	۳۹۱/۵۵۸	۴۲۴/۲۱۴	۴۷۳/۰۴۱	۵۰۵/۸۵۴	۴۴۸/۶۳	تجاری
۹	۲۳۸/۱۷۷	۲۵۴/۰۳	۲۷۷/۹۱	۲۹۳/۷۵۸	۲۶۵/۹۷	خانگی
۱۰	۲۳۸/۱۷۷	۲۵۴/۰۳	۲۷۷/۹۱	۲۹۳/۷۵۸	۲۶۵/۹۷	خانگی
۱۱	۱۸۷/۵۴۹	۲۰۰/۰۳۲	۲۱۸/۸۳	۲۳۱/۳۱۵	۲۰۹/۴۳	خانگی - تجاری
۱۲	۱۸۷/۵۴۹	۲۰۰/۰۳۲	۲۱۸/۸۳	۲۳۱/۳۱۵	۲۰۹/۴۳	خانگی - اداری
۱۳	۱۸۷/۵۴۹	۲۰۰/۰۳۲	۲۱۸/۸۳	۲۳۱/۳۱۵	۲۰۹/۴۳	خانگی
۱۴	۱۱۸/۹۶۴	۱۲۶/۸۸	۱۳۸/۸۱	۱۴۶/۷۲	۱۳۲/۸۵	خانگی
۱۵	۲۳۸/۱۷۷	۲۵۴/۰۳	۲۷۷/۹۱	۲۹۳/۷۵۸	۲۶۵/۹۷	خانگی
۱۶	۲۹۷/۵۳	۳۱۷/۳۴	۳۴۷/۱۶	۳۶۶/۹۷	۳۳۲/۲۵	خانگی - اداری
۱۷	۲۳۸/۱۷۷	۲۵۴/۰۳	۲۷۷/۹۱	۲۹۳/۷۵۸	۲۶۵/۹۷	مؤسسات
۱۸	۱۸۷/۵۴۹	۲۰۰/۰۳۲	۲۱۸/۸۳	۲۳۱/۳۱۵	۲۰۹/۴۳	مؤسسات - خانگی
۱۹	۱۸۷/۵۴۹	۲۰۰/۰۳۲	۲۱۸/۸۳	۲۳۱/۳۱۵	۲۰۹/۴۳	خانگی
۲۰	۱۸۷/۵۴۹	۲۰۰/۰۳۲	۲۱۸/۸۳	۲۳۱/۳۱۵	۲۰۹/۴۳	خانگی - تجاری
۲۱	۱۷۱/۳۳۸	۱۸۱/۲۹۹	۱۹۷/۰۵۲	۲۰۷/۰۶	۱۸۹/۱۷۵	خانگی
۲۲	۱۷۱/۳۳۸	۱۸۱/۲۹۹	۱۹۷/۰۵۲	۲۰۷/۰۶	۱۸۹/۱۷۵	خانگی
۲۳	۱۳۴/۹۲۶	۱۴۲/۷۷	۱۵۵/۱۷۵	۱۶۳/۰۵۷	۱۴۸/۹۷۳	خانگی
۲۴	۱۳۴/۹۲۶	۱۴۲/۷۷	۱۵۵/۱۷۵	۱۶۳/۰۵۷	۱۴۸/۹۷۳	خانگی
۲۵	۱۰۶/۹۹	۱۱۳/۲۱	۱۲۳/۰۵	۱۲۹/۳	۱۱۸/۱۳	خانگی
۲۶	۱۷۱/۳۳۸	۱۸۱/۲۹۹	۱۹۷/۰۵۲	۲۰۷/۰۶	۱۸۹/۱۷۵	خانگی
۲۷	۱۳۴/۹۲۶	۱۴۲/۷۷	۱۵۵/۱۷۵	۱۶۳/۰۵۷	۱۴۸/۹۷۳	خانگی
۲۸	۸۵/۷۹	۹۰/۷۸۲	۹۸/۶۶۹	۱۰۳/۶۸۲	۹۴/۷۲۵	خانگی
۲۹	۱۳۴/۹۲۶	۱۴۲/۷۷	۱۵۵/۱۷۵	۱۶۳/۰۵۷	۱۴۸/۹۷۳	خانگی
۳۰	۱۷۱/۳۳۸	۱۸۱/۲۹۹	۱۹۷/۰۵۲	۲۰۷/۰۶	۰/۱۷۵	خانگی - اداری
۳۱	۱۳۴/۹۲۶	۱۴۲/۷۷	۱۵۵/۱۷۵	۱۶۳/۰۵۷	۱۴۸/۹۷۳	خانگی - اداری
۳۲	۲۶۷/۸۱	۲۸۳/۳۷۶	۳۰۷/۹۹۸	۲۲۳/۶۴۳	۲۹۵/۶۸۷	خانگی - تجاری
۳۳	۱۷۱/۳۳۸	۱۸۱/۲۹۹	۱۹۷/۰۵۲	۲۰۷/۰۶	۱۸۹/۱۷۵	اداری
۳۴	۱۰۶/۹۹	۱۱۳/۲۱	۱۲۳/۰۵	۱۲۹/۳	۱۱۸/۱۳	تجاری
۳۵	۱۰۶/۹۹	۱۱۳/۲۱	۱۲۳/۰۵	۱۲۹/۳	۱۱۸/۱۳	خانگی - تجاری
۳۶	۱۰۶/۹۹	۱۱۳/۲۱	۱۲۳/۰۵	۱۲۹/۳	۱۱۸/۱۳	خانگی - اداری
۳۷	۱۰۶/۹۹	۱۱۳/۲۱	۱۲۳/۰۵	۱۲۹/۳	۱۱۸/۱۳	خانگی - مؤسسات
۳۸	۱۰۶/۹۹	۱۱۳/۲۱	۱۲۳/۰۵	۱۲۹/۳	۱۱۸/۱۳	خانگی

بار $L = (L1, L2, L3, L4)$ بار فازی دوزنقه‌ای است.

در نقاطی که دو نوع مشترک وجود دارد، بارها به صورت مساوی بین آنها تقسیم شده است.