مدل سازی قابلیت اطمینان با استفاده از منطق فازی

دکتر میر بهادر قلی آریانژاد*
دکترعباس طلوعی اشلقی**

چکیده:

به‌کارگیری منطق فازی در فرآیندهای عملیاتی دستگاه‌ها مدتی است که معمول گردیده است. از آنجا که نحوه کارکرد این دستگاه‌ها به شرایط خرابی آن بستگی دارد، به‌کارگیری منطق فازی در مهندسی قابلیت اطمینان دستگاه‌ها و عملیات نیز غیر منتظره نیست. تا به‌حال بررسی‌های مبتنی بر برازش توابع مختلف قابلیت اطمینان بر مبنای منطق دو دویی[1] انجام شده و دستگاه یا کاملاً سالم و یا کاملاً خراب در نظر گرفته می‌شده است. اما هیچگاه شرایط خرابی‌های بین این دو حالت اهمیتی نداشته است در صورتی که این شرایط خصوصاً در دستگاههای مکانیکی اجتناب ناپذیر می‌باشد. این مقاله با نگرشی ساده به منطق فازی آن‌را در تخمین توابع مرتبط با قابلیت اطمینان به‌کار گرفته و مفاهیم دقت و باور احتمال و صحت بزرگی قابلیت اطمینان را نیز در این شرایط معرفی کرده است.

کلمات کلیدی: قابلیت اطمینان[2]، منطق فازی[3] ، تابع چگالی[4] ، تابع توزیع[5] ، تابع نرخ خرابی[6] ، دقت[7] ، باور – احتمال[8] ، صحت[9].

---

*- دانشیار، عضو هیأت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران

**- مربی، عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

1- Binary
2- Reliability
3- Fuzzy logic
4- Density function
5- Distribution function
6- Hazard function
7- Precision
8- Believe-probability
9- Truth

مقدمه

از زمان پیدایش ماشین، همواره دغدغه اصلی انسان در تعامل با ماشین، نگهداری ماشین در حالت بهینه کارکرد می‌باشد. انسان علاقه داشته است که ماشین‌های مورد استفاده وی همواره آماده کار باشند و این خود با احساس اطمینان و آرامش فرد استفاده کننده، توام بوده است. قابلیت اطمینان را به‌صورت علمی *«احتمال بقای سیستم در زمان معین و در شرایط از پیش تعیین شده»* تعریف نموده‌اند. (Elsayed, 1996)

تاکنون مفاهیم عمده مهندسی قابلیت اطمینان در حوزه منطق کلاسیک عنوان می‌شده‌است. بر این مبنا یک ماشین یا کاملا خراب و یا کاملا درست کار می‌کرده است. اما در واقعیت ما با بسیاری از ماشین‌ها سروکار داریم که در حالت بینابینی این دو شرایط کار می‌کنند. از سوی دیگر، در مفاهیم به‌کار گرفته شده فازی، تاکنون دو مشکل عمده دیده می‌شد. اول پیچیدگی نسبتا زیاد آنها است که عملا به‌کارگیری عملیاتی آنها را در صنایع دشوار ساخته است و ازسوی دیگر در مورد فرد متخصص که اظهار نظر وی در مورد خرابی، پایهٔ تصمیم‌گیری‌های بعدی بود، بررسی‌های کیفی انجام نمی‌شده است. در این تحقیق در ابتدا مدلی ساده برای یافتن توابع مرتبط با قابلیت اطمینان مطرح گردیده است. این مدل کاملاً شرایط روابط کلاسیک مبتنی بر حساب دیفرانسیل در ارتباط بین توابع مختلف را در نظر داشته است و اساس فرمول‌های استفاده شده در آن معادلات کلاسیک قابلیت اطمینان می‌باشد و تنها شرایط کیفی و مبهم به‌صورت ارتباطات فازی وارد مدل شده است. از سوی دیگر مفاهیم دقت و باور- احتمال در مورد سنجش دقت فرد تصمیم‌گیرنده وارد مدل شده است و مفهوم صحت برای مقایسات فازی میزان قابلیت اطمینان در زمان‌های متفاوت به‌کار گرفته شده است. به علت جلوگیری از پیچیده شدن ارتباطات، در این مقاله تنها شرایط کارکرد یک نوع دستگاه بصورت مطلق بررسی شده و تعاملات دستگاه‌ها به‌صورت سری، موازی، مختلط و پیچیده مطرح نشده است.

الگوریتم به‌کارگیری منطق فازی در قابلیت اطمینان:

در این مبحث به‌طور سیستماتیک ورودی‌های مدل، فرآیندهای انجام شده روی آن و خروجی‌های مدل و تفاسیر مرتبط با این خروجی‌ها مطرح گردیده است. در طی مراحل الگوریتم داده‌های ورودی با (و)، اطلاعات خروجی با (خ) و پردازش‌ها با (پ) نمایش داده شده است.

۱- مجموعه مرجع را تعریف کنید.[1] (U)

۲- مجموعه متغیرهای زبانی[2] نوع خرابی را معین کنید.

۳- با استفاده از یک رابطه(در این تحقیق تابع زنگوله‌ای شکل[3]) مجموعه‌های فازی نوع خرابی و درجه عضویت آنها را تشکیل دهید.

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + d(x - c)^2} \qquad \text{رابطه ۱)}$$

دراین رابطه $\mu A(x)$ درجه عضویت هر عضو در مجموعه فازی است. C مقدار عددی مربوط

1- Universal set

2- Linguistic variables

3- Bell shape function

به هر مجموعه منسوب به متغیرهای زبانی است و x مقدار عددی تمامی اعضای مجموعه فازی است (این اعداد مطابق اعداد مجموعه مرجع خواهد بود). پارامتر d شکل تابع را معین می‌کند و در طول مسأله ثابت باقی خواهد ماند.

۴- در بازه‌های زمانی متفاوت میزان خرابی دستگاه را توسط متغیرهای زبانی تعریف شده در گام (۲) تعیین نمایید. (و)

۵- فاصله‌های زمانی را برحسب تجربه و یا برحسب دقت مساله تعیین نمایید.(پ)

۶- فراوانی‌ها و انواع خرابی درهر فاصله را معین نمائید. (پ)

۷- به علت اینکه لازم است در هر فاصله زمانی با یک مجموعه فازی سروکار داشته باشیم، میانگین حسابی مجموعه‌های فازی نوع خرابی را با استفاده از رابطه زیر به‌دست آورید. (و)

رابطه ۲)
$$\tilde{\mu}Aj = \frac{\sum_{i=1}^{m} \mu Aij}{n}$$

در این رابطه μAij درجه عضویت مرتبط مجموعه جهانی در هریک از مجموعه‌های فازی نوع خرابی، μAj درجه عضویت هر عنصر در مجموعه با هرعضو فازی میانگین نوع خرابی و n تعداد مجموعه‌های فازی در هر فاصله زمانی می‌باشد.

۸- نوع خرابی را برحسب درصد به‌دست آورید. در این حالت هرچه عدد اظهار شده توسط متخصص به ۱۰۰ نزدیکتر باشد، به معنی خرابی بیشتر ماشین است. قبل از گام ۹ اعداد به‌دست آمده در گام ۸ را به فاصله ۹ – ۱ مقیاس کنید. (و)

۹- میانگین خرابی‌ها را بر حسب درصد محاسبه کنید.(و)

۱۰- عدد بدست آمده از گام (۹) را با استفاده از رابطه (۱) به یک مجموعه فازی تبدیل کنید. یکسان سازی نتایج مراحل (۷) و (۹) می‌باشد. میانگین این دو جدول را به‌دست آورید. (پ)

۱۱- برای مقایسه نتایج به‌دست آمده در (۷) و (۹)، که به معنی دقت اظهار نظر کننده است، نتایج این دو مرحله را برای مقایسه به حالت قطعی درآورید و با استفاده از روابط زیر دقت فرد را معین کنید. اگر دقت برای ادامه مساله کافی است به گام بعد بروید. در غیر این صورت با استفاده از روش‌هایی مثل تصمیم‌گیری گروهی دقت را افزایش دهید. (پ)

رابطه ۳)
$$Z^* = \frac{\sum_{j=1}^{n} \mu Aj.U}{\sum_{j=1}^{n} \mu Aj}$$

در این رابطه که به روش تمایل به مرکز[1] معروف است، *Uj مجموعه جهانی*، *μAij درجه عضویت اعضای* و Z^* *عدد قطعی منسوب به مجموعه فازی می‌باشد*. این رابطه یکی از روابط متداول است که برای تبدیل مجموعه‌های فازی به عدد قطعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

رابطه۴)
$$P = 100 - (((mean_{fuzzy} - mean_{percent}))/\Delta d)$$

در این رابطه $mean_{fuzzy}$ به معنی میانگین مجموعه‌های فازی در فاصله زمانی مورد نظر است

1- Centroid

که به‌صورت قطعی در آمده است، $mean_{percent}$ به معنی میانگین خرابی بر حسب درصد در فاصله مورد نظر است، Δd حداکثر اختلاف بین کمینه و بیشینه مجموعه جهانی مورد تحقیق است و P به معنی دقت فرد مورد نظر است.

۱۲- فرد متخصص در تصمیم‌گیری خود در مورد خرابی‌های دستگاه مواجه با دونوع دقت است، یک نوع دقت که با ابزار بیرونی[1] اندازه گیری می‌شود. (که در قبل از آن به عنوان اندازه‌گیری دقت یاد شد) و دیگری دقت درونی[2] که خود فرد در مورد خرابی‌ها ابزار می‌کند. مثلاً فرد میزان خرابی را نیمه خراب ذکر کرده اما احتمال اینکه خرابی واقعاً از نوع نیمه خراب باشد، ۰/۹ می‌داند و از سوی دیگر باور فرد به این احتمال اظهارشده به‌طور مثال ۰/۸ می‌باشد. پس ممکن است با مجموعه‌ای از باورها و احتمال‌ها مطابق زیر روبرو شویم.

رابطه ۵) $\{\frac{b1}{p1}, \frac{b2}{p2}, ..., \frac{bn}{pn}\}$

در این رابطه pi احتمال این است که فرد در مورد خرابی درست اظهار نظر کرده باشد و bi باور خود متخصص به احتمال حدس زده شده است. این مجموعه در مورد تمامی خرابی‌های فازی معرفی شده در فاصله‌ها مصداق خواهد داشت. پس باید مفهوم احتمال – باور را در فاصله زمانی و نیز در کل زمان مورد مطالعه بدست آوریم. برای این‌کار و در شرایط خوش بینی[3] از دو رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

رابطه ۶)

(مقدار باور – احتمال در فاصله زمانیi)

$$(b\text{-}p)i = \max((bi*pi))$$

در این رابطه (b-p)iمقدار باور- احتمال در فاصله Iام است. علت استفاده از ماکزیمم تعریف خوشبینانه شرایط تصمیم‌گیری است و علت استفاده از حاصل ضرب استفاده از مفهوم اشتراک این دو متغیر می‌باشد.

رابطه ۷)

(مقدار باور احتمال در کل بازه زمانی مورد تحقیق)

$$B\text{-}P = \max((b\text{-}p)i)$$

در این رابطه B-P مقدار باور احتمال در کل بازه زمانی مورد تحقیق است. بدیهی است که هر چه مقدار آن بیشتر باشد، امکان باور استفاده کنندگان به نتایج به‌دست آمده در مورد قابلیت اطمینان دستگاه بیشتر خواهد بود و نیز نتایج بدست آمده دارای اعتبار بیشتری خواهد بود.

۱۳- تابع نرخ خرابی فازی را معین کنید.

این تابع از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

رابطه۸) $\tilde{h}(t) = \frac{\tilde{X} * FK}{n * \Delta t}$

1- External perception

2- Internal perception

3- Optimistic

در این رابطه $\tilde{h}(t)$ تابع نرخ خرابی فازی، $\tilde{X}$ مجموعه فازی میانگین حاصل از مجموعه فازی متغیرهای زبانی و بر حسب درصد، FK فراوانی خرابی در فاصله، n تعداد خرابی کل باقی مانده در مدل و Δt فاصله زمانی خواهد بود.

۱۴- تابع چگالی فازی را معین کنید.

این تابع از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\tilde{f}(t) = \frac{\tilde{X} * Fk}{N * \Delta t} \qquad \text{رابطه ۹)}$$

در این رابطه N تعداد کل خرابی و تابع $\tilde{f}(t)$ تابع چگالی فازی خواهد بود.

۱۵- تابع قابلیت اطمینان فازی را معین کنید.

این تابع از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\tilde{R}_{(t)} = \frac{\tilde{f}(t)}{\tilde{h}(t)} \qquad \text{رابطه ۱۰)}$$

در این رابطه $\tilde{R}(t)$ تابع قابلیت اطمینان فازی است.

۱۶- تابع توزیع خرابی فازی را معین کنید.

این تابع از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\tilde{F}_{(t)} = 1 - \tilde{R}(t) \qquad \text{رابطه ۱۱)}$$

در این رابطه $\tilde{F}(t)$ تابع توزیع خرابی فازی است.

۱۷- پس از بدست آوردن میزان قابلیت اطمینان در فواصل مختلف در مورد صحت بزرگی (احتمال بزرگی قابلیت اطمینان به‌دست آمده در یک فاصله نسبت به سایر فاصله‌ها) با استفاده از رابطهٔ زیر اظهار نظر کنید.

$$T(A \geq B) = \sup_{x \geq y}\{\min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}\} \qquad \text{رابطه ۱۲)}$$

در این رابطه T(A>=B) احتمال بزرگی مجموعه A به مجموعه B، μA(x) درجه عضویت‌های مجموعه A و μB(x) درجه عضویت‌های مجموعه B است. نتیجه این مقایسه به علت مقایسه تمامی فواصل با یکدیگر یک ماتریس خواهد بود.

مطالعه موردی:

گام ۱- مجموعه مرجع:

U = {1, 3, 5, 7, 9}

گام ۲- مجموعه متغیرهای زبانی:

کاملاً سالم، سالم، نیمه خراب، خراب، کاملاً خراب

گام ۳- مجموعه‌های فازی متغیرهای زبانی: (مقدار d در این مقاله برابر 0.0625 در نظر گرفته شده است)(بر اساس رابطه ۱)

کاملاً خراب $\left\{\frac{0.165}{1}, \frac{0.31}{3}, \frac{0.5}{5}, \frac{0.8}{7}, \frac{1}{9}\right\}$

سالم $\left\{\frac{0.31}{1}, \frac{0.5}{3}, \frac{0.8}{5}, \frac{1}{7}, \frac{0.8}{9}\right\}$

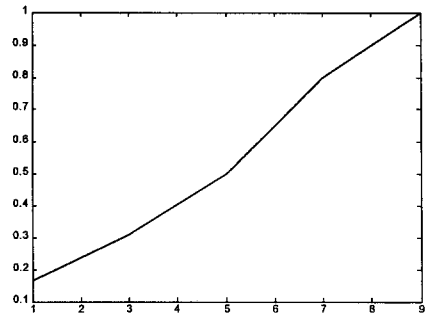
نیمه خراب $\left\{\frac{0.8}{1}, \frac{0.8}{3}, \frac{1}{5}, \frac{0.8}{7}, \frac{0.5}{9}\right\}$

خراب $\left\{\frac{0.8}{1}, \frac{0.5}{3}, \frac{0.8}{5}, \frac{1}{7}, \frac{0.31}{9}\right\}$

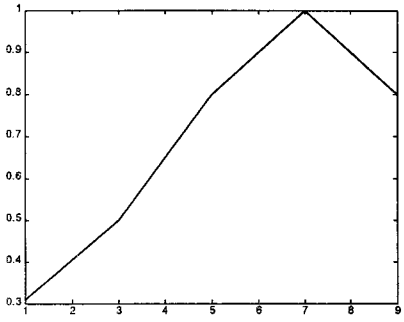
کاملاً خراب $\left\{\frac{1}{1}, \frac{0.8}{3}, \frac{0.5}{5}, \frac{0.31}{7}, \frac{0.2}{9}\right\}$

نمودارهای مربوط به این مجموعه‌ها در ادامه دیده می‌شود.

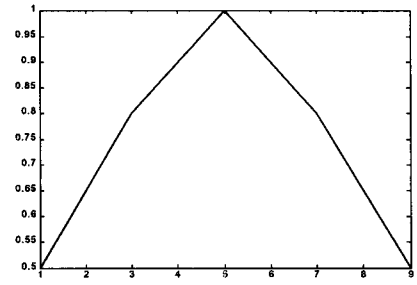
نمودار ۱: نمودار تابع عضویت مجموعه کاملا سالم



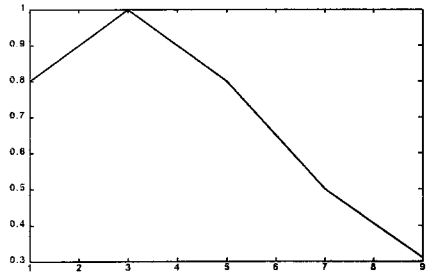
نمودار ۲: نمودار تابع عضویت مجموعه سالم



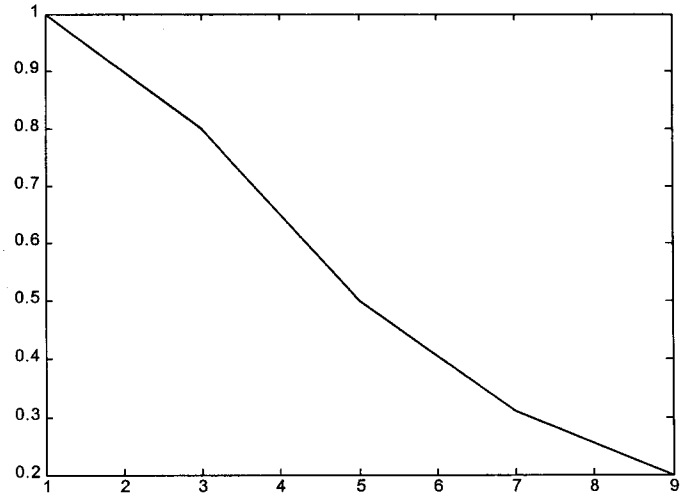
نمودار ۳: نمودار تابع عضویت مجموعه نیمه خراب



نمودار ٤: نمودار تابع عضویت مجموعه خراب



نمودار ٥: نمودار تابع عضویت مجموعه کاملاً خراب



گام ۴، ۵ و ۶ – نتایج گام های فوق را همزمان در جدول زیر مشاهده می کنید.

جدول ۱

خرابی های فازی	فاصله بررسی به هفته
(نیمه خراب و خراب و کاملاً خراب)۳	۱-۵
(خراب)۱	۶-۱۰
(خراب و سالم) ۲	۱۱-۱۵
(نیمه خراب و کاملاً خراب و کاملاً خراب)۳	۱۶-۲۰
(خراب و خراب و نیمه خراب و کاملاً خراب)٤	۲۱-۲۵
(کاملاً خراب و نیمه خراب و نیمه خراب)۳	۲۶-۳۰
(کاملاً خراب و کاملاً خراب)۲	۳۱-۳۵
(نیمه خراب و خراب)۲	۳۶-٤۰
(کاملاً خراب)۱	٤۱-٤۵
(نیمه خراب)۱	٤۶-۵۰

در جدول ۱ فراوانی‌های هر فاصله زمانی در کنار آن نوشته شده است.

در گام‌های بعدی به علت پرهیز از طولانی شدن مقاله تنها نتایج مربوط به فاصله زمانی ۵ -۱ هفته ذکر خواهد شد. تنها در مورد مفهوم باور – احتمال برای شناخت بیشتر روش معرفی شده، نتایج سه فاصله زمانی متوالی ذکر خواهد شد.

گام ۷ - میانگین مجموعه‌های خرابی فازی بر حسب متغیرهای زبانی (بر اساس رابطه ۲)

فاصله۵–۱ $\left\{\frac{0.77}{1},\frac{0.87}{3},\frac{0.77}{5},\frac{0.54}{7},\frac{0.34}{9}\right\}$

گام ۸ – خرابی بر حسب درصد

فاصله ۵ – ۱ ۴۵٪ و ۶۵٪ و ۹۰٪

گام ۹ – میانگین خرابی بر حسب درصد

فاصله ۵ -۱ ۶۶ ، ۶۷

- مجموعه فازی خرابی بر حسب درصد

فاصله۵–۱ $\left\{\frac{0.75}{1},\frac{0.99}{3},\frac{0.85}{5},\frac{0.54}{7},\frac{0.33}{9}\right\}$

گام ۱۰ - میانگین فازی حاصل از دو روش

فاصله۵–۱ $\left\{\frac{0.76}{1},\frac{0.93}{3},\frac{0.81}{5},\frac{0.54}{7},\frac{0.335}{9}\right\}$

گام ۱۱ – محاسبه دقت مدل

100 - (((3.401-2.848)/8)*100) = 93%

گام ۱۲ - مفهوم باور –احتمال

جدول (۲)

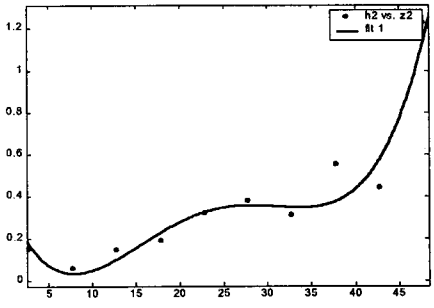
مقدار نهایی پاور – احتمال بر اساس رابطه ۷	مقدار پاور – احتمال بر اساس رابطه ٦	مقدار پاور بر احتمال	خرابی با متغیرزبانی	فاصله زمانی
0.47	0.56 0.48 0.56	$\left\{\frac{0.8}{0.7}\ \frac{0.6}{0.9}\right\}$ $\left\{\frac{0.6}{0.8}\ \frac{0.5}{0.7}\right\}$ $\left\{\frac{0.5}{0.3}\ \frac{0.8}{0.7}\right\}$	کاملاً خراب خراب نیمه خراب	1 – 5
0.42	0.42	$\left\{\frac{0.3}{0.9}\ \frac{0.7}{0.6}\right\}$	خراب	6 – 10
0.32	0.32 0.21	$\left\{\frac{0.3}{0.6}\ \frac{0.4}{0.8}\right\}$ $\left\{\frac{0.7}{0.3}\ \frac{0.5}{0.4}\right\}$	سالم خراب	11 – 15

در جدول ۲ ستون سوم نمایش رابطه ۵، ستون چهارم با استفاده از رابطه ۶ و ستون آخر با استفاده از رابطه ۷ به‌دست آمده است. در کل فاصله‌های زمانی و برای فرد خوش بین این عدد برابر ۰/۷۲به‌دست آمده است.

گام ۱۳ – تابع نرخ خرابی تخمینی فازی

فاصله۵–۱ $\left\{\frac{0.335}{0.3072}\ \frac{0.54}{0.2389}\ \frac{0.81}{0.1706}\ \frac{0.93}{0.1024}\ \frac{0.76}{0.0341}\right\}$

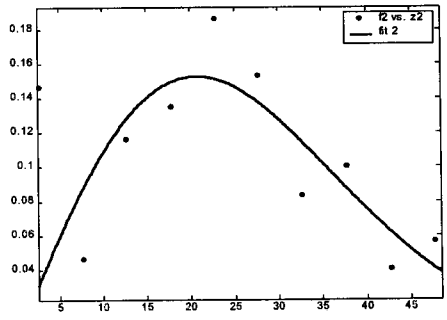
نمودار ٦: نمودار تابع نرخ خرابی فازی



گام ۱۴ – تابع چگالی تخمینی فازی

فاصله۵–۱ $\left\{\frac{0.335}{0.3072}\ \frac{0.54}{0.2389}\ \frac{0.81}{0.1706}\ \frac{0.93}{0.1024}\ \frac{0.76}{0.0341}\right\}$

نمودار ۷: تابع چگالی فازی



گام ۱۵ – تابع قابلیت اطمینان تخمینی فازی

$$\left\{\begin{array}{l}\frac{0.335}{9.0088},\frac{0.54}{7.6059},\frac{0.76}{5.0029},\frac{0.76}{3.0029},\frac{0.335}{3},\frac{0.54}{2.333},\frac{0.335}{1.8007},\frac{0.81}{1.666},\\ \frac{0.59}{1.4004},\frac{0.335}{1.2859},\frac{0.93}{1},\frac{0.335}{0.7777},\frac{0.54}{0.1741},\frac{0.81}{0.6002},\frac{0.335}{0.5553},\frac{0.54}{0.4286},\\ \frac{0.335}{0.3333},\frac{0.76}{0.333},\frac{0.76}{0.1999},\frac{0.54}{0.1427},\frac{0.335}{0.111}\end{array}\right\}\text{ فاصله ۵ - ۱}$$

گام ۱۶ – تابع توزیع خراب فازی

$$\left\{\begin{array}{l}\frac{0.335}{-8.0088},\frac{0.54}{-6.6059},\frac{0.76}{-4.0029},\frac{0.76}{-2.0029},\frac{0.335}{-2},\frac{0.54}{-1.333},\frac{0.335}{-0.8007},\\ \frac{0.81}{-0.666},\frac{0.54}{-0.2859},\frac{0.335}{-0.004},\frac{0.93}{0},\frac{0.335}{0.2223},\frac{0.54}{0.2859},\frac{0.81}{0.3998},\frac{0.335}{0.4447},\\ \frac{0.54}{0.5714},\frac{0.335}{0.6667},\frac{0.76}{0.667},\frac{0.76}{0.8001},\frac{0.54}{0.8573},\frac{0.335}{0.889}\end{array}\right\}\text{ فاصله ۵ - ۱}$$

همانگونه که دیده می‌شود در تابع توزیع خرابی فازی مجموعه مرجع دارای اعداد منفی شده که باید به فاصله ۹ – ۱ مقیاس شود.

حال می‌توان نتایج فازی به‌دست آمده از گام‌های ۱۶ – ۱۳ را به‌صورت قطعی در آورد و توابع و نمودارهای آنرا بررسی کرد و یا اینکه در حالت فازی قواعد فازی را برای آن استنتاج کرد[1].

۱- نگارندگان در مقاله‌ای با عنوان Application of fuzzy neural network in reliability, EURO/INFORMS 2003 به بررسی نتایج این مقاله و بکارگیری الگوریتم‌های یادگیری در تبیین خروجی‌ها و تولید ورودی‌های این مدل پرداخته‌اند.

گام ۱۷ – صحت بزرگی قابلیت اطمینان

صحت بزرگی قابلیت اطمینان	R1-5	R6-10	R11-15	R16-20	R21-25	R26-30	R31-35	R36-40	R41-45	R46-50
R1-5		0.93	0.9	0.885	0.93	0.895	0.83	0.93	0.93	0.93
R6-10			0.9	0.885	0.94	0.895	0.83	0.95	0.99	0.99
R11-15				0.885	0.9	0.895	0.83	0.9	0.9	0.9
R16-20					0.88	0.895	0.83	0.885	0.885	0.88
R21-25						0.895	0.83	0.94	0.94	0.94
R26-30							0.83	0.895	0.895	0.895
R31-35								0.83	0.83	0.83
R36-40									0.95	0.95
R41-45										0.99
R46-50										

همانگونه که در ماتریس فوق مشاهده می‌شود، احتمال بزرگی قابلیت اطمینان در هر فاصله نسبت به فواصل دیگر نشانگر میزان اعتماد به قابلیت اطمینان به‌دست آمده در هر فاصله خواهد بود.

نتایج:

تاکنون مدل‌هایی برای قابلیت اطمینان فازی پیشنهاد گردیده است اما حوزه به‌کارگیری آنها بیشتر در مرحله طراحی و ساخت بوده است و به قابلیت اطمینان به مفهوم اطمینان از کارکرد در طول عمر ماشین نپرداخته‌اند. از سوی دیگر سادگی مدل مطرح شده در این مقاله و نیز کاربرد مفاهیم دقت، باور – احتمال و صحت در آن مفاهیم جدیدی بوده است. لازم به ذکر است که اطلاعات ورودی می‌تواند تغییر یافته و یا متناسب با شرایط خاصی طراحی گردد. از سوی دیگر در شرایط مدل حاضر به‌کارگیری مفاهیمی از دقت با دیدگاه‌های مختلف، می‌تواند چارچوب‌هایی برای تصمیم‌گیری در مورد خرابی ماشین و قابلیت اطمینان آن ایجاد نماید. این مدل برای یک ماشین به‌کار گرفته شده است ولی تحقیقات بعدی می‌تواند آن را در شرایط ارتباطات متفاوت دستگاه‌ها با یکدیگر(به‌صورت سری، موازی، مختلط و یا پیچیده) مورد بررسی قرار دهد.

منابع و مآخذ:

1 - Cai, K. Y., Wen, C. Y. and Zhang, M. L.: Fuzzy Variables as a Basis for a Theory of Fuzzy Reliability in the Possibility Context, *Fuzzy Sets and Systems* 42 (1991), 145-172.

2 - Cai, K. Y., Wen, C. Y. and Zhang, M. L.: Fuzzy States as a Basis for a Theory of Fuzzy Reliability, *Microelectronics and Reliability* 33, (1993), 2253-2263.

3-Chen, S. M.: Fuzzy System Reliability Analysis Using Fuzzy Number Arithmetic Operations, *Fuzzy Sets and Systems* 64 (1994), 31-38.

4-Cooman, Gert de: On Modeling Possibilistic Uncertainty in Two-State Reliability Theory, *Fuzzy Sets and Systems* 83 (1996) 215-238.

5-Huang, H. Z.: Reliability Analysis Method in the Presence of Fuzziness Attached to Operating Time, *Microelectronics and Reliability* 35 (1995) 1483-1487.

6- *Reliability Engineering* (1996) by Elsayed A. Elsayed. Addison Wesley.

7- Li Bing, Zhu Meilin, Xu Kai, A practical engineering method for fuzzy reliability analysis of mechanical structures, Reliability Engineering & System Safety (2000) pp. 311-315.

8-Xu, K.,Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L. and Zhu, M. L. Fuzzy Assessment System of FMEA for Engine Systems. *Reliability Engineering and Systems Safety*. Vol.75 (1), pp.17-29, 2002

9-Xu, K. and Zhu, M. L. Fuzzy Methods in the Failure Modes and Effects Analysis. *Journal of Huazhong University of Science and Technology*, vol.9, 1999.

10-"The reliability method of mechanical strength based on fuzzy analysis," *Mechanical Science and Technology*, Vol. 21, No. 2, pp. 194-195, 2002.