تئوری فازی در سیستم مهندسی شکست

تئوری فازی در سیستم مهندسی شکست

(قابلیت اطمینان، تعمیر و نگهداری، ایمنی، امنیت، ریسک و...)

تهیه و تدوین: دکتر کامران شهانقی - مهندس کاظم حکمت

چکیده

سیستم مهندسی شکست، شامل مباحث قابلیت اطمینان، ایمنی، امنیت، قابلیت تعمیر، ریسک و کنترل کیفی است .در این مقاله بخشی از تصورات فازی که در سیستم مهندسی شکست در زمینه‌های تشخیص شکست، سیستم Probist ، قابلیت اطمینان (ساختاری ـ نرم‌افزاری ـ نیروی انسانی (مهندسی ایمنی، مهندسی امنیت، مهندسی ریسک و کنترل کیفیت به صورت Profust و Probist و نیز قابلیت اطمینان Profust و Probistبه کار رفته، بیان می‌گردد.

شایان ذکر است که مطالعات مهندسی و مسائل ریاضی به صورت فازی در سیستم مهندسی شکست رشد فراوانی داشته و موارد مطالعاتی و عملی زیادی در این زمینه انجام شده است.

۱ـ مقدمه

در رابطه با شکست باید اذعان داشت که این مسئله از اصول غیر قابل اجتناب سیستم‌ها و محصولات تولیدی است .تقریباً در تمامی سیستم‌های مکانیکی، الکتریکی، شیمیایی، ساختمانی، پل‌ها، هوافضا و ... و حتی در سیستم‌های تصمیم‌گیری مدیریت، ترافیک و ... شکست به صورت کمیاب یا متواتر مشاهده می‌شود .کلاً، شکست می‌تواند فیزیکی، انسانی، منطقی یا سرمایه‌ای باشد. اصولاً فاکتورها و معیارهای محاسبه شکست، عبارتند از :ساختار، اجرا، هزینه و حتی موضوعات خاص قابل تعریف طبق نظر محققان.

مطالعات زیادی در رابطه با دیدگاه‌های مرتبط با شکست انجام شده است .کنترل کیفیت تقریباً تا اواخر دهۀ گذشته قابل ردیابی است [۱] تحقیقات قابلیت اطمینان سخت‌افزاری بر مبنای مسائل تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات و یا تعویض لامپ‌های گروهی در اواخر سال‌های ۱۹۳۰ تا اوایل سال‌های ۱۹۴۰ صورت پذیرفته است [۲] لیکن تا اوایل ۱۹۷۰ بحث نرم‌افزاری قابلیت اطمینان

چندان قابل توجه نبوده است [۳] با پیشرفت فناوری و توسعه پیچیدگی سیستم‌های فناورانه، شکست‌های متعدد در مورد سیستم‌ها اتفاق خواهد افتاد.

شکست می‌تواند به صورت کمی یا کیفی بررسی شود، مثلاً در کنترل کیفی کنترل‌هایی برای مشخصه‌های کیفی و کنترل‌هایی نیز برای متغیرهای کمی وجود دارد [۴] و یا در قابلیت اطمینان نیروی انسانی و نرم‌افزاری، مدل‌های کمی و کیفی مسئله را اندازه‌گیری و بررسی می‌نماید. [۵] چیزی که تاکنون مشخص و تعریف شده، ترکیب دو حالت کمی و کیفی در شکست است.

تئوری احتمالات وسیله‌ای کارا برای تجزیه و تحلیل شکست‌های در حالت‌های نامطمئن (uncertain) می‌باشد. تقریباً تعداد زیادی از مقاله‌ها و مدل‌ها پیشنهادات خود را به صورت احتمالی بیان کرده‌اند .لیکن با پیچیده‌تر شدن سیستم‌ها و افزایش متغیرهای سیستم، متأسفانه تئوری احتمالات نتوانسته پاسخگوی مسائل متعدد حال حاضر باشد.

روش فازی، به طور مطمئن‌تر و کامل‌تر مسائل را مورد ارزیابی قرار می‌دهد و به همین علت تئوری فازی، به عنوان ابزاری مشابه احتمالات پا به عرصه وجود گذاشته است [۶] بکارگیری روش فازی در مهندسی شکست اولین بار توسط کوفمن (Kaufmann) انجام شده است [۷] و او ایده به کارگیری امکان پذیری اجزاء به عنوان قابلیت اطمینان تعویض را، به جای احتمال اجزاء، برای اولین بار مطرح کرده است (گرچه توضیح دقیقی در رابطه با موضوع فوق نداده است .(کار اصلی روش فازی در سیستم شکست از دهۀ ۸۰ به بعد آغاز شده است و در حال حاضر روش فازی به طور گسترده در سیستم شکست به کار می‌رود)قابلیت اطمینان نیروی انسانی، [۸] قابلیت اطمینان نرم‌افزارها، [۹]قابلیت اطمینان سخت افزارها [۷]قابلیت اطمینان ساختاری و....)[۸]

۲ـ سیستم مهندسی شکست

منظور از سیستم مهندسی شکست سطح فناورانه است که کلیه شکست‌هایی که اتفاق می‌افتد را شامل می‌گردد .اگر همه چیز به خوبی پیش برود و تجهیزات به خوبی طراحی شده باشند، هیچ‌گونه نارضایتی و شکستی در سیستم مهندسی شکست به وجود نمی‌آید .متأسفانه این فرض وجود ندارد.

۲ـ۱ـ شکست و موفقیت(Failure & Success)

موفقیت :اگر یک واقعه یا یک نوع رفتار با معیارهای از قبل تعریف شده مطابقت داشته باشد و کلیه معیارها نیز اتفاق بیفتد در آن صورت به آن موفقیت گویند .

شکست: هر معیاری در تعریف بالا اتفاق بیفتد؛ شکست رخ می‌دهد .

در تئوری قابلیت اطمینان قراردادی [۱۲]فرض بر این است که اجزاء و سیستم در دو حالت »خوب - بد» قرار دارند و این موضوع نشان دهنده این مطلب است که هیچ وضعیتی بین این دو حالت تعریف نشده است، یعنی شکست و موفقیت دارای معیارهای »صفر ـ یک» هستند حتی در سیستم‌های چند وضعیتی [۱۳] شکست و موفقیت »صفر ـ یک» است .

کاملاً واضح است که بحث فوق در تمامی موارد نمی‌تواند درست باشد در سیستم‌های محاسباتی خرابی تدریجی مشخصه کاهش توان اجزا مشهود است و بدین ترتیب معیار شکست یا موفقیت در یک فاصله تعریف می‌شود[۱۴] فاکتورهای کیفیت، هزینه، قابلیت خرید و ... می‌توانند به عنوان موارد شکست یا موفقیت تعریف شوند] 15 [.به همین جهت تعریف عمومی‌تری را برای موفقیت و شکست می‌توان ارائه کرد :

n ,...a 1 A={a }را مجموعه‌ای از فاکتورهای مرتبط قرار دهید.

به طوری که متغیرهای فاکتور موفقیت و متغیرهای فاکتور شکست باشند.

$$\mu_S = \mu_S(x_{S1},...x_{Sn}) : [0,1]^n \dashrightarrow [0,1]$$

$$\mu_F = \mu_F(x_{F1},...x_{Fn}) : [0,1]^n \dashrightarrow [0,1]$$

μ_Sآن‌گاه متغیر موفقیت یا تابع عضویت موفقیت و متغیر شکست یا تابع عضویت شکست نامیده می‌شود .سیستم موفقیت Sو سیستم شکست F به عنوان مجموعه‌های فازی زیر تعریف می‌شوند:

از آنجایی که متغیرهای فاکتورهای موفقیت و شکست روی A تعریف شده‌اند، در نتیجه به طور مستقیم خواهیم داشت:

در تئوری قابلیت اطمینان قراردادی [۱۲] رفتار به عنوان i امین جزء سیستم می‌باشد و و وضعیت‌های 1»و۰» را نشان می‌دهند. در نتیجه و توابع ساختاری به صورت دو رویه سکه می‌باشند. در سیستم‌های با خرابی تدریجی [۱۴]، ۱ a و ... و n a می‌توانند وضعیت‌های سیستم را نشان داده و متغیرهای فاکتور موفقیت (شکست (را در ارتباط با اندیس‌های اجرا، نمایش دهند. در نتیجه و می‌توانند به صورتی که در بالا نشان داده شد، تعریف شوند. می‌توان i {a }را به عنوان یک مجموعه فاکتورهای کیفی، مانند صحّت، قابلیت اطمینان، کارآیی، درست بودن، قابل استفاده بودن، قابلیت تعمیرپذیری، انعطاف پذیری، قابلیت حمل، قابلیت دوباره استفاده کردن و ... تعریف کرد و همزمان نیز به عنوان متغیر کیفی تعریف خواهد شد.

۲ـ۲ـ قابلیت وابستگی(Dependability)

قابلیت وابستگی به عنوان بحثی از اندازه‌گیری نامطمئن در موفقیت و شکست تعریف می‌شود که ممکن است، شامل قابلیت اطمینان، ایمنی، امنیت و مشابه اینها باشد .قابلیت وابستگی، مانند شکست، کلیه فعالیت‌های تعریف شده در شکست را در بر می‌گیرد .به این جهت، قابلیت وابستگی (اتکاء (را می‌توان مترادف مهندسی سیستم شکست نامید.

۲ـ۳ـ بحث‌های اصلی در سیستم مهندسی شکست

چهار بحث اصلی در سیستم مهندسی شکست وجود دارد که عبارتند از:

۲ـ۳ـ۱ـ چرا سیستم‌ها با شکست مواجه می‌شوند؛

۲ـ۳ـ۲ـ چگونه سیستم‌های قابل وابستگی توسعه می‌یابند؛

۲ـ۳ـ۳ـ چگونه سیستم‌های قابل وابستگی چک می‌شوند؛

۲ـ۳ـ۴ـ چگونه سیستم‌های قابل وابستگی تعمیر می‌شوند.

۲ـ۴ـ شمای کلی مهندسی شکست

هدف از سیستم مهندسی شکست مفهوم مخصوص شکست است .بنابراین، دو چیزی که نشان دهنده مفهوم شکست باشد را می‌توان به عنوان سیمایی از اجزاء سیستم مهندسی شکست تعریف کرد. موضوعات این مفهوم می‌توانند «دلیل شکست»، «نتایج شکست» و یا معیارهای دیگر باشند .برخی از مفاهیم شکست عبارتند از:

۲ـ۴ـ۱ـ قابلیت اطمینان؛

۲ـ۴ـ۲ـ ایمنی؛

۲ـ۴ـ۳ـ قابلیت تعمیر و نگهداری؛

۲ـ۴ـ۴ـ امنیت؛

۲ـ۴ـ۵ـ ریسک؛

۲ـ۴ـ۶ـ کنترل کیفیت.

۳ـ چرا روش فازی در سیستم مهندسی شکست به کار می‌رود؟

نظرات متعددی توسط دانشمندان مختلف در زمینه بکارگیری فازی اعلام شده است. «زیمرمن «به عنوان یکی از برجسته‌ترین دانشمندان عصر جدید در زمینه بکارگیری روش فازی و تحقیق در عملیات، نظرات خود را به شرح زیر بیان کرده است: [۱۶]

۳ـ۱ـ حوادث مبهم :ارتباطات مبهم در مدل سازی مسائل)برخی از مسائل ممکن است ذاتاً فازی باشند)؛

۳ـ۲ـ اطلاعات مبهم :یعنی داده‌های ورودی مسائل ممکن است فازی باشند، (مانند، اطلاعات جزئی که به صورت زبانی یا قضاوت‌های ذهنی بیان می‌شود)؛

۳ـ۳ـ روش‌های هیوریستیک :در برخی از مدل‌ها و مسائل حتی با وجود جواب دقیق به علت پیچیدگی یا مقرون به صرفه نبودن حل مسائل، از روش‌های هیوریستیک یا فازی استفاده می‌شود.

۴ـ روش فازی در سیستم مهندسی شکست

با توجه به بحث‌های گذشته، واضح است که روش فازی در سیستم مهندسی شکست کاربرد فراوانی دارد. گرچه مطالبی که بیان شده کلیه توانایی‌های کاربرد فازی در سیستم مهندسی شکست نمی‌باشد، جهت آشنایی بیشتر، به صورت محدود و خلاصه تاریخچه و کاربرد فازی در مهندسی شکست توضیح داده می‌شود.

۴ـ۱ـ روش فازی در تشخیص اشتباهات (خطاها)(*Fault*)

منظور از اشتباه، بحث دینامیکی انحراف از طراحی استاندارد می‌باشد .اصولاً در این مبحث مطالب زیر مطرح می‌گردد:

آیا اشتباه رخ داده است؟ ـ کجا اشتباه رخ داده است؟ ـ چه نوع اشتباهی رخ داده است؟ تعیین خرابی حاصل از اشتباه ـ مشخص نمودن مجدد حالت مساعد بعد از اشتباه و...

در حقیقت وظیفه اصلی تشخیص اشتباه پاسخ به سئوال زیر است:

«چرا سیستم با شکست مواجه می‌شود»؟

با توجه به علامات مختلفی که در تشخیص اشتباه در سیستم کاربرد دارد، می‌توان موارد ذیل که گویای فازی بودن طبیعت مطالب است را بیان نمود.

در یک رآکتور آب گرم (*SWR*) علامات زیر به وضوح قابل بحث است [۱۷]:

«فشار کاهش یافته است. درجه حرارت خیلی بالاست. نرخ شناوری افزایش یافته است و ...»

واضح است که مطالب فوق به صورت بیانی مطرح می‌گردد و این با توجه به رفتارهای ابهام‌آمیز در مدل‌های سیستم و یا تصورات انسانی در سیستم، نشان‌دهنده مفید بودن روش فازی است.

روش‌های تخمینی، *Rule - Based*ها و روش‌های تشخیص الگو، اغلب روش‌هایی هستند که در حل مسائل تشخیص اشتباه به کار گرفته می‌شوند [۱۸] نکته مهم این که در هر سه روش فوق، روش فازی سهم عمده‌ای دارد که به صورت خلاصه در ذیل تعریف می‌گردد:

(*a*روش‌های تخمین :فرانک (*Frank*) در این مورد نشان داده است که روش‌های فازی برای تولید و ارزیابی با منطق خاص، کاربردی است. [۱۹]

(*b*دلایل : *Rule - Based*این روش یک ایده بکارگیری مجموعه ارتباطات فازی با توصیف قوت دلائل موجود بین اشتباهات و علائم تعیین شده می‌باشد[۱۴۱]به عنوان مثال، می‌توان یک نوع ارتباط فازی را به صورت زیر تعریف نمود[:۸۶]

$$R = FoR$$

(cروش‌های تشخیص الگو :براساس نظر کندل [۵۴] (*Kandel*) روش‌های فازی می‌توانند برای تشخیص الگو به کار روند.

۴ـ۲ـ روش فازی در سیستم‌های *Probist*

اگر به سیستم قابلیت اطمینان قراردادی دقت شود ملاحظه می‌گردد که دو مطلب به عنوان اصول و فرضیات سیستم قابلیت اطمینان قراردادی مطرح است که عبارتند از: [۴]

(aفرضیه احتمالات:)*Pro*

bفرضیه «صفر و یک» یعنی سیستم در دو حالت سلامت یا خراب است و بس*bins* :

مثال‌های زیادی برای مطرح نمودن تئوری فازی در دو فرضیه فوق وجود دارد، مانند:

«حالت‌های بی‌شماری ممکن است بین حالت سالم یا خراب در یک سیستم مکانیکی تعریف شود»

به همین علت اغلب یک سیستم *Probist* را می‌توان یک سیستم فازی *Probist*نامید.

۴ـ۲ـ۱ـ قابلیت اطمینان *Probist*به عنوان یک عدد فازی

قابلیت اطمینان *Probist*به معنی سیستم *Probist*است که احتمالات در آن به شکل قراردادی مطرح می‌شود، لیکن با توجه به طبیعت این سیستم، احتمالات فازی می‌توانند در آن به کار روند و قابلیت اطمینان فازی به عنوان یک رفتار فازی به صورت «عدد فازی» مطرح شود. علت این که در این سیستم از عدد فازی استفاده می‌شود، کمبود داده‌های شکست سیستم، در موارد مختلف می‌باشد .در نتیجه تعیین احتمال بسیار مشکل می‌شود.

دو شکل کلی قابلیت اطمینان *Probist*فازی وجود دارد: «مقادیر بیانی» و «مقادیر فاصله‌ای»؛ مقادیر بیانی مثل «خیلی خوب «، »متوسط» و یا هر موضوعی است که به صورت کیفی بیان می‌شود و مقادیر فاصله‌ای، مانند زوج $[a\ ,\ b]$ و یا یک عدد مثلثی (a,b,c)و... می‌باشد.

۴ـ۲ـ۲ـ تجزیه و تحلیل «درخت اشتباه» *Probist* (*Fault Tree*) فازی

با توجه به این که احتمالات وقایع، دارای رفتار عدد فازی هستند و تعداد زیادی آنالیز درخت اشتباه با رفتار عددی فازی انجام شده است تاناکا (*Tanaka*) احتمال وقایع را به صورت عدد فازی ذوزنقه‌ای بسط داده و برای محاسبه احتمال وقایع به کار گرفته است. [۶۶ و ۱۰۰]

شومن (*Soman*)و میسرا (*Misra*) روشی که موجب بسط آنالیز درخت اشتباه چند وضعیتی می‌گردد را پیشنهاد نموده‌اند [۶۶]

۴ـ۲ـ۳ـ آنالیز روش‌ها و تأثیرات شکست *Probist*فازی

موضوع آنالیز تأثیرات و حالت‌های شکست (*FMEA=Failure Mode & Effect Analysis*) این است که اگر شکستی رخ دهد، یا اتفاقی بیفتد. در صورتی که تصور کنیم تأثیرات شکست فازی نیستند، حداقل دو نوع فازی بودن با *FMEA* به وجود می‌آید:

۱ـ فازی بودن احتمال شکست؛

۲ـ فازی بودن نتایج شکست.

شایان ذکر است که محیط و زمان و دیگر فاکتورها نیز به صورت فازی مطرح می‌شوند. یک روش قوی و مناسب برای انجام *FMEA* به صورت *Probist* فازی، استفاده از هر دو حالت احتمالات و نتایج شکست به عنوان مجموعه‌های فازی است که با بکارگیری روش‌های فازی *FMEA* به صورت قراردادی، بسط می‌یابد .در این زمینه محاسبات فازی شکست اجزاء به صورت‌های مختلف انجام می‌شود.

یکی از بخش‌های قابلیت وابستگی به روش ترم‌های اعداد به شکل زیر تعریف می‌شود[۲۷]

اگر ۱۱ C و ... و E 1 ò

اگر ۲۱ C و ... و E 2 ò

.

.

.

.

اگر ۱ $m\ C$ و ... و $m\ E$ $mn\ C$ ò

به طوری که:

معلول‌ها , ... , m , $j = 1$, $i = ij$ {$C =$ ۱و... , n}

نتایج} m , ... , E 1 {$E =$

در اینجا هر دو حالت معلول‌ها و نتایج فازی هستند.

۴ـ۲ـ۴ـ نتایج فازی با قابلیت اطمینان *Probist*

یک سیستم سری با دو جزء را در نظر بگیرید. در صورتی که از متغیرهای زبانی برای توصیف هر یک از اجزاء استفاده شود، باید رابطه بین متغیرهای زبانی و مجموعه‌های فازی (اعداد فازی) و چگونگی بکارگیری روش‌های فازی در این نوع مسائل مشخص گردد .نکته قابل توجه این است که روش‌های متعددی برای این مسائل جهت بکارگیری مدل‌های فازی وجود دارد. [۶۹]

۴ـ۲ـ۵ـ قابلیت اطمینان *Probist* فازی

یک سیستم سری یا موازی به صورت *Probist* را در نظر بگیرید. تصور کنید قابلیت اطمینان اجزاء، «اعداد فازی» هستند. در این حالت چگونگی تعیین قابلیت اطمینان سیستم مهم است. در این باره مطالعات زیادی صورت گرفته که عمده مسائل مطرح شده در آنها عبارتند از: [۲۹]

۴ـ۲ـ۵ـ۱ـ چگونه اعداد فازی مناسب، برای نمایش قابلیت اطمینان اجزاء انتخاب شود؟

۴ـ۲ـ۵ـ۲ـ چگونه از بکارگیری اعداد فازی، مراقبت شود (مثل این که اعداد مثلثی برای قابلیت اطمینان مناسب است و در نتیجه بکارگیری اعداد مثلثی در این حالت الزامی است)؛

۴ـ۲ـ۵ـ۳ـ چگونه یک اصل تعمیم مناسب، از بین اصول تعریف شده انتخاب شود؛ [۴۹]

۴ـ۲ـ۵ـ۴ـ مسئله بسیار مهم در ارتباط با پیچیدگی سیستم *Probist* است و چگونگی دست و پنجه نرم کردن در ارتباط با بدست آوردن قابلیت اطمینان با توجه به محاسبات پیچیده آن می‌باشد.

۴ـ۲ـ۶ـ بهینه‌سازی فازی قابلیت اطمینان *Probist*

در سیستم‌های قراردادی بهینه سازی قابلیت اطمینان سیستم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S\ Max\ R$$

به طوری که $S\ R$، قابلیت اطمینان سیستم، $i\ x$، قابلیت اطمینان اجزاء و $ij\ g$ جریمه تابع است.

شایان ذکر است که در مدل فوق هم تابع هدف و هم محدودیت‌ها می‌توانند فازی تعریف شوند. مثال‌های زیادی در زمینه سیستم قابلیت اطمینان برای فرموله نمودن مسائل به صورت فازی وجود دارد.

از جمله مسائل موجود، افزایش قابلیت اطمینان سیستم تا حد امکان تقریبی ۱۰۰ است که دارای محدودیت‌های غیر خطی است، یوتکین (*Utkin*) بحثی راجع به بهینه نمودن محدودیت‌ها و توابع هدف فازی در رابطه با *Redundancy* انجام داده است. نکته قابل توجه این که روش‌های فازی کاربرد بسیار جالبی در مورد مسائلی که ذاتاً غیر فازی هستند، دارند. [۴۷]

4ـ۲ـ۷ـ ملاحظات فازی طراحی قابلیت اطمینان *Probist*

*FMEA*و (*FTA* (*Fault Tree Analysis*)و بهینه سازی قابلیت اطمینان، فعالیت‌هایی هستند که در ارتباط با طراحی قابلیت اطمینان می‌باشند .ورما (*Verma*) و نزویک (*Knezevic*) در ارتباط با پیش‌بینی تعامل بین تجهیزات (قابلیت اطمینان تجهیزات) و طراحی سیستم به صورت فازی روشی طراحی کرده‌اند و همچنین پارک (*Park*) و کیم (*Kim*) در رابطه با بکارگیری متغیرهای زبانی در چک لیست‌های وزن داده شده، که زمینه کاربردی زیادی، مثل کنترل مسائل خاص دارند، کارهایی انجام داده‌اند [۷۷]

شایان ذکر است که علاوه بر فعالیت‌های فوق، مسائل دیگری نیز در ارتباط با طراحی قابلیت اطمینان وجود دارد که عموماً رفتار محیطی و سیستم محیطی آنها با فاکتورهای غیر دقیق مواجه است مانند:

*MTTF > 1000h) MTTF = Mean Time to Failure)*که فازی است.

۴ـ۲ـ۸ـ تست طول عمر *Probist*فازی

به دلایل مختلف و در موقعیت‌های مختلف به دست آوردن یک مقدار واحد برای *MTBF (MTBF = Mean Time Between Failure)*به عنوان معیاری برای قبول یا رد یک تعداد محصول، مشکل است .به همین علت اصولاً در این مواقع از عدد فازی استفاده می‌شود و در نتیجه روش‌های فازی برای تست طول عمر باید به کار گرفته شوند .کاناگاوا(*Kanagava*) و آتا (*Ohta*) دو مورد را در این رابطه ارائه داده‌اند[۵۳]

۴ـ۲ـ۹ـ آنالیز داده‌های قابلیت اطمینان *Probist*فازی

جمع‌آوری داده‌های شکست برای تعیین قابلیت اطمینان سیستم ضروری است .لیکن این داده‌ها به صورت دقیق جمع آوری نمی‌شوند .حال ممکن است دو حالت اتفاق افتد :یکی این که شکست قطعاً اتفاق می‌افتد، لیکن زمان شکست دقیقاً مشخص نیست و یا در فهم آن اشکال وجود دارد. در این حالت برای شکست از اعداد فازی استفاده می‌شود .مورد دیگر این که یا شکست اتفاق نمی‌افتد و یا به صورت بخشی، شکست رخ می‌دهد و ما تنها مشاهدات سانسور شده زمان شکست را داریم .در این حالت داده‌های شکست می‌توانند رفتاری در ارتباط با روش‌های فازی داشته باشند. [۵۰] سومن (*Soman*) و میسرا (*Misra*) در رابطه با چگونگی تخمین پارامترهای توزیع طول عمر نرمال و توزیع طول عمر وایبل و نیز زمانی که طول عمر بتواند توسط اعداد فازی ذوزنقه‌ای قابل حصول باشند؛ مطالعاتی انجام داده‌اند.

۴ـ۳ـ تئوری قابلیت اطمینان *Profust*

با توجه به این که فرضیات »صفر و یک» خیلی قابل قبول نیستند، این موضوع باعث جهت‌گیری فرضیات فازی به تئوری قابلیت اطمینان *Profust*شده است. [۲۲] تئوری قابلیت اطمینان *Profust* براساس فرضیات زیر می‌باشد:

(aفرضیه احتمال .Pro :؛

(bفرضیه موقعیت فازی :خصوصیت موفقیت و شکست سیستم، موقعیت فازی دارد (بعضی اوقات سیستم می‌تواند به صورت یکی از دو موقعیت فازی فوق باشد، یعنی شکست سیستم در یک مسیر مشخص، تعریف شده نیست).

«تئوری قابلیت اطمینان $Profust$در مطالعات، سیستم $Profust$نامیده می‌شود.»

۴ـ۳ـ۱ـ بسط پتانسیل

در توسعه اولیه تئوری قابلیت اطمینان [40] $Profust$فرض کردیم که یک سری از موقعیت‌های سیستم غیر فازی هستند (مثل ۱) $S\ n\ S$,..., که به صورت موفقیت فازی و شکست فازی تعریف شده‌اند که بسط پتانسیل، رفتار سیستم‌های غیر فازی را به عنوان موفقیت‌های فازی در خود سیستم‌ها تعریف می‌کند .تابع عضویت وقایع فازی در انتقال از موفقیت فازی به شکست فازی یا باید فازی باشد و یا واقعه فازی از نوع دو باشند. کوللو [۲۹] ($Culellu$) بحثی روی توابع ساختاری با موقعیت‌های سیستم (۱ ($S\ n\ S$,..., به عنوان موقعیت‌های فازی انجام داده است و چگونگی ارتباطات اساسی در تئوری قابلیت اطمینان را بسط داده است.

۴ـ۳ـ۲ـ سیاستهای تعمیر و نگهداری $Profust$

مسئله مهم در این بحث، چگونگی برنامه سیاست تعمیر و نگهداری در موقعیت‌های سیستم فازی یا فرضیات موقعیت‌های فازی است .سوروش ($Survesh$) مطالعاتی در این زمینه انجام داده است و مدلی براساس موقعیت‌های موفقیت فازی (شکست فازی) ارائه داده است که مبتنی بر سیستم قراردادی است (شبیه‌سازی فازی)

۴ـ۳ـ۳ـ آنالیز درخت اشتباه $Profust$

درخت اشتباه فازی با این مسئله مواجه است که در سیستم موقعیت‌های فازی، یک درخت اشتباه چگونه آنالیز می‌شود و بسط می‌یابد .فوروتا ($Furuta$) و شیرایشی ($Shiraishi$) در این باره

مطالعاتی داشته‌اند .آنها تصور کردند که وقایع اساسی در درخت اشتباه، فازی است و در نتیجه، بدین وسیله، یک نوع اندازه‌گیری مهم از اجزاء سیستم را ارائه داده‌اند. [۴۳]

۴ـ۴ـ تئوری قابلیت اطمینان $Posbist$

با توجه به این که تئوری احتمالات بسیار قوی است، لیکن در بعضی موارد نیازمندیم تا با تئوری امکان پذیری به حل مسائل بپردازیم .همانگونه که اشاره شد کوفمن ($Kaufman$) اولین کسی است که ترمینولوژی امکان پذیری را برای قابلیت اطمینان استفاده کرد [۵۷] نواکوسکی ($Nowakowski$) شاید اولین فردی است که بحث ریاضی ایده امکان پذیری را نشان داده است

[۷۲] تاناکا (*Tanaka*) امکان‌پذیری شکست را برای نمایش مجموعه فازی احتمال شکست به کار برده است؛ یعنی، احتمال شکست یک نوع احتمال فازی است .نیشی‌واکی (*Nishiwaki*) و اونیاوا (*Oniawa*) ایده‌های امکان خطای انسانی و امکان شکست انسانی را به صورت‌های مشابه در قابلیت اطمینان نیروی انسانی نشان داده‌اند[۷۵]کائی (*Cai*) ایده ریاضی امکان و متغیر فازی را برای تئوری قابلیت اطمینان *Posbist* بسط داده است. [۲۰]

این تئوری براساس دو فرضیه زیر است:

(*a* فرضیه امکان :رفتار شکست سیستم خصوصیت اندازه‌گیری امکان را دارا می‌باشد؛

(*b* فرضیه موقعیت «۱و۰» (قبلاً توضیح داده شد).

شایان ذکر است که کائی (*Cai*) براساس سیستم‌های غیر قابل تعمیر مطالعات خود را انجام داده است، لیکن به راحتی می‌توان نشان داد که سیستم‌های تعمیرپذیر می‌توانند با تئوری قابلیت اطمینان *Posbist* بررسی شوند .به عبارت بهتر کومن (*Cooman*) با تمرکز روی خواص امکان، ساختار توابع معیار شکست را نشان داده است. [۳۰]

۴ـ۵ـ تئوری قابلیت اطمینان *Posfust*

تئوری قابلیت اطمینان *Posfust* براساس دو فرضیه زیر استوار است:

(*a* فرضیه امکان: (قبلاً توضیح داده شد)

(*b* فرضیه موقعیت فازی: (قبلاً توضیح داده شد)

قابلیت اطمینان *Posfust* سیستم، بیان کننده امکان شکست سیستم فازی در یک فاصله زمانی خاص است که تحت محیط به خصوصی اتفاق می‌افتد .از آنجایی که سیستم شکست فازی یک واقعه فازی است، ما نیازمندیم که ابزار ریاضی مناسبی جهت امکان پذیری مجموعه‌های فازی داشته باشیم. این ابزار ریاضی *Q.Scale* می‌باشد. [۴۹] به کمک تعریف انتقال از موفقیت فازی به شکست فازی و ایدهٔ اندازه‌گیری *Q.Scale*، تئوری قابلیت اطمینان *Posfust* می‌تواند بسط یابد (اگر چه هنوز یک کار نظام‌مند تحت این عنوان صورت نگرفته است)

۴ـ۶ـ روش فازی در قابلیت اطمینان نرم‌افزاری

بحثی که در انتخاب روش فازی در تحقیقات قابلیت اطمینان نرم‌افزاری صورت می‌پذیرد، این است که رفتار آن فازی است یا امکان‌پذیر است [۱۷] و این در جایگاهی مطرح می‌گردد که روش‌های کلاسیک احتمالات و یا قطعی، بسیار قوی در این باره بحث کرده‌اند .باتانی [۶] (*Batani*) مدل امکان پذیری با خصوصیات غیر دقیق صحت نرم‌افزارها را بسط داده است. کائی (*Cai*) نیز یک مدل فازی با خصوصیات قابلیت اطمینان نرم‌افزاری، براساس زمان پیوسته ایجاد نموده است. [۵۲]

شایان ذکر است که مدل فازی در مورد رفتار قابلیت اطمینان نرم‌افزاری در حالت‌های منفصل نیز، کاربرد دارد.

نکته قابل توجه این که، اگر چه روش احتمالات متروک نشده است که روش فازی بتواند نقش خود را ایفا کند. تصور این که بخواهیم از توزیع احتمال با فرآیند آماری استفاده کنیم، این موضوع را یادآور می‌شود که نیازمند دستیابی به توزیع احتمالات هستیم و در واقع در این زمینه اغلب هم فضای داده‌ها و هم توابع توزیع بسیار سخت به صورت دقیق تخمین زده می‌شود.

در صورتی که رفتار احتمالات فازی بسیار مناسب‌تر است. به عبارت بهتر، قابلیت اطمینان نرم‌افزاری در مواقع شکست، نیاز به قضاوت‌های خبره‌ها دارد و قضاوت‌های انسانی ذاتاً فازی هستند.

۴ـ۷ـ روش فازی در قابلیت اطمینان نیروی انسانی

فازی بودن در سیستم‌های انسان ـ ماشین نقش بسیار وسیعی دارد. نکته‌ای که در این زمینه وجود دارد این است که سه فاکتور زیر اصولاً با فازی بودن مطرح می‌گردد] 34 [:

۴ـ۷ـ۱ـ عدم توانایی برای بدست آوردن اطلاعات و فرآیند جمع آوری کافی اطلاعات در سیستم‌ها؛

۴ـ۷ـ۲ـ مبهم بودن ارتباط بین انسان و محیط‌کاری؛

۴ـ۷ـ۳ـ مبهم بودن انسان در تمامی فرآیندها.

قابلیت اطمینان نیروی انسانی به صورت طبیعی، فازی است [۱۶] اگر قابلیت اطمینان به عنوان احتمال خطای نیروی انسانی تعریف شود، در نتیجه یک روش بسیار قوی برای بکارگیری روش فازی جهت احتمالات به عنوان عدد فازی مطرح می‌شود . نیشی‌واکی (*Nishiwaki*) و اونی ساوا (*Onisawa*) با ایده »خطای انسانی ـ امکان شکست «در فضایی با خطای » نیروی انسانی ـ احتمال شکست»، به این مسئله پرداخته‌اند، ایشان در واقع «خطای انسان ـ امکان شکست» را به دلیل این که رفتار احتمال فازی دارد و نیز به دلیل احتمال «شکست ـ خطا» به عنوان احتمال نمایش داده‌اند .لینگ (*Liang*) و ونگ *Wang*) (ارتباط فازی تخمین احتمال فازی را به کار برده‌اند . [۴۲]

از دیگر دلایلی که روش فازی، کاربردی شده است، متروک شدن احتمالات برای محاسبه و اندازه‌گیری و شکست نیروی انسانی است .بر عکس، قابلیت اطمینان نیروی انسانی در *Term*های اندازه‌گیری امکان، به شکل الگوهای ریاضی، توسط نوواکوسکی (*Nowakowski*)بیان شده است .اعمال نیروی انسانی به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود: [۲۷]

«کاهش خطای اجرا ـ کاهش خطای جاری ـ ایمنی ـ عمل نکردن»

شکست نیروی انسانی به عنوان واقعه فازی تعریف می‌شود و این طریقه سوم بکارگیری روش فازی است.

۴ـ۸ـ روش فازی در مهندسی ایمنی

مهندسی ایمنی بیشتر روی این موضوع تمرکز دارد که ممکن است شکست مصیبت زا باشد. در رابطه با بکارگیری روش فازی در مهندسی ایمنی چندان کار نشده است، لیکن پتانسیل کار در طراحی ایمنی تقریباً اجتناب‌ناپذیر است. مثل تصادفات اجتناب‌ناپذیر ربات‌ها که توسط گراهام [۳۰] (*Graham*) کار شده است و یا سیستم اعلام آتش خودکار که با سیستم دودکار می‌کند، لیکن با هر دودی نباید سیستم عمل کند. در این باره روش‌های فازی بسیار کاربردی است. [۴۰]

کاربرد دیگر روش فازی در مهندسی شکست، تعیین ایمنی است .در سیستم ایمنی در حالت بحرانی، بحثی که روش‌های *objective*در آن معتبر باشد، وجود ندارد، [۴۳] بنابراین، قضاوت‌های خبره یا تعیین موضوع انتخابی مطرح می‌گردد که روش‌های فازی برای آنها پیشنهاد می‌شود.

۴ـ۹ـ روش فازی در مهندسی امنیت

مهندسی امنیت اصولاً در رابطه با عوامل خارجی بحث می‌کند (مثل خطرات سخت‌افزاری ـ نرم‌افزاری و داده‌های رایانه‌ای[۳۴] بکارگیری روش فازی در مهندسی امنیت به تدریج افزایش یافته است .یکی از کاربردهای روش فازی، «طراحی امنیت» است .به دلیل این که رایانه‌ها و داده‌های آنها بسیار ارزشمند هستند [۴۱] روش فازی در طراحی امنیت فازی رایانه‌ها و داده‌های آنها به صورت فازی به کار می‌رود .کاربرد دیگری که مطرح است، «تعیین و اندازه‌گیری امنیت» می‌باشد .اگر احتمال به عنوان اندازه‌گیری کیفی تعیین امنیت انتخاب شود، باید احتمالات با اعداد فازی مطرح گردد، زیرا قطعاً عدم دقت وجود دارد و باید به همین دلیل دقت تخمین زده شود. در این زمینه تئوری امکان می‌تواند جهت تعیین این مطلب به کار گرفته شود. [۵۲] در این زمینه‌ها شکست فازی برای نمایش تخلف از امنیت بسیار مفید است. به روشنی تمامی مطالب فوق در ارتباط با مهندسی امنیت اتفاق می‌افتد و به راحتی نشان داده می‌شود که بقای غیردقیق به عنوان اندازه‌گیری قابلیت اطمینان *Profust*به کار گرفته شود. [۱۹]

۴ـ۱۰ـ روش فازی در مهندسی ریسک

مهندسی ریسک متمرکز روی وقایع غیر مطمئن است .تصمیم‌گیری فناورانه انتخاب سیاست تعمیر و نگهداری برای رآکتور هسته‌ای شبیه به مهندسی ریسک است .عموماً ریسک می‌تواند به عنوان تصور فازی در مورد وقایع در دوره‌های زمانی اتفاق افتد. [۲۴] ریسک یکسری وقایع مختلف در ارتباط با زمانی به زمان دیگر و از حالتی به حالت دیگر می‌باشد.

برای آنالیز یک واقعه، روش احتمالات به صورت زیر قابل اندازه‌گیری است:

$$R=LEC$$

به طوری که L :احتمال وقوع، Eامکان ضعف رسیدن به موضوع و Cنتیجه ممکن می‌باشد .توسط کاروسکی (*Karwowski*) و میتال (*Mital*) نشان داده شده است که به جای Lو Eو C به صورت عدد از متغیرهای زبانی استفاده می‌شود و با استفاده از اصل تعمیم، Rبدست می‌آید [38] .البته، گاهی از رول‌های فازی برای ریسک استفاده می‌شود)مثل L :و Eو C (R Ñگاهی نیز از ارتباطات فازی می‌توان برای محاسبه ریسک استفاده نمود) مثل .(= R : [۴۳]).

شایان ذکر است که در تمامی بحث‌ها تعیین ریسک در مواقعی که اتفاق وقایع غیر مطمئن می‌باشد، از اندازه‌گیری امکان استفاده خواهد شد.

۴ـ۱۱ـ روش فازی در کنترل کیفی

روش فازی در کنترل کیفی، به خصوص در تعریف کیفیت و فرآیند کنترل کیفی و تعیین کیفیت کاربرد وسیعی دارد .در این باره، ایونس (*Evans*) جهت قبول نمونه مورد نیاز در ارتباط با رد تولید (انبوه تولید (مطالعه کرده است. [۲۳] اصولاً در این ارتباط، هیچ تعریف واضحی در رابطه با موضوع خرابی وجود ندارد و می‌بایست از درجه یا رنج خرابی استفاده نمود. سن (*Cen*) در رابطه با درجه خرابی رنگ‌های تلویزیون بحث کرده است. [۱۸] قابلیت تعمیر، یک فاکتور کیفی نرم‌افزاری است و جهت سادگی و فهم مستندات نرم‌افزاری در ترم‌های رسمی به هم ملحق شدن اجزا تفسیر می‌گردد. [۲۲] ممکن است متغیرهای کیفی و رفتار موقعیت کیفی به عنوان موقعیت‌های شکست یا موفقیت، فازی تعریف شود. روش‌های کاربردی فازی مثل تعریف حدود کنترل و یا ...استفاده از *Rulebase*فازی مثل » اگر « Ñاست. [۴۴] البته، روش‌های فازی دیگری نیز وجود دارند که در کنترل کیفی به کار گرفته می‌شوند [45] .در واقع، اگر کیفیت جامع به عنوان کیفیت سیستم جامع تعریف شود، در این صورت روش‌های فازی بسیار ارزشمند خواهد بود .یک سیستم جامع شامل موارد ذیل است:

«هدف -محیط عملیات - فرآیند توسعه یافته - فرآیند عملیات - تعمیر و نگهداری - مدیریت و منابع حمایت‌کننده»

ارتباط بین این موضوع بسیار پیچیده و مبهم است.

یک سیستم پیچیده معمولاً شامل ضرب فاکتورهای کیفی است .برای مثال، در سیستم نرم‌افزاری، درست کارکردن، قابلیت اطمینان، قابلیت تعمیرپذیری، آماده بودن و قابلیت استفاده، فاکتورهای کیفی هستند .ارتباط بین این فاکتورهای کیفی بسیار پیچیده است .به همین علت مقادیر این فاکتورهای کیفی ممکن است بیانی باشد و در نتیجه فاکتورهای کیفی به عنوان متغیرهای کیفی سیستم، فازی باشد.

۵ـ موارد مطالعاتی مهندسی شکست

موارد مطالعاتی مهندسی زیر به صورت *Off line* مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در اینجا صرفاً به صورت سرفصل‌های مطالب عنوان می‌شود، لیکن در هر یک از زمینه‌های ذیل جزئیات فعالیت‌های انجام شده بر حسب نیاز علاقه‌مندان عنوان می‌شود.

۵ـ۱ـ تجزیه و تحلیل درخت اشتباه *Probist* فازی؛

۵ـ۲ـ تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان *Profust*؛

۵ـ۳ـ مدل‌سازی قابلیت اطمینان نرم‌افزاری فازی؛

۵ـ۴ـ تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان نیروی انسانی فازی؛

۵ـ۵ـ کنترل کیفیت فازی؛

۵ـ۶ـ بکارگیری *Posbist* در قابلیت اطمینان، قابلیت دسترسی و عدم قابلیت دسترسی؛

۵ـ۷ـ بحث (*Dependability* نوع *I* و نوع *II*)؛

۵ـ۸ـ بکارگیری ریاضیات فازی جهت بهبود مدل‌های شکست؛

۵ـ۹ـ بکارگیری مدل‌های رزرو (*Redundancy*) در قابلیت اطمینان؛

۵ـ۱۰ـ تغییر طول عمر و تأثیر آن در قابلیت اطمینان؛

۵ـ۱۱ـ قابلیت اطمینان نرم‌افزار مرکب؛

۵ـ۱۲ـ تعمیر و نگهداری (سیاست‌های تعویض ـ بازرسی‌ها و...)؛

۵ـ۱۳ـ بکارگیری *MODM* در بحث شکست.

۶ـ نتیجه‌گیری

همان طور که بیان شد، مهندسی شکست سیستم ممکن است در قالب قابلیت اطمینان، ایمنی، امنیت، تعمیر و نگهداری، ریسک و کنترل کیفی مطرح شود .همراه با پیشرفت‌های فناوری و پیچیدگی فناوری سیستم‌ها، ممکن است سیمایی گوناگون از مهندسی شکست سیستم پدیدار گردد.

این موضوع به یک نقطه نظر منتهی می‌گردد و همه اینها به عنوان یک نظر عمومی از شکست به صورت شکلی یکنواخت تعریف می‌شود که با بکارگیری مجموعه‌های فازی و نمایش‌های وسیع آن بررسی می‌گردد .تصورات گوناگون مهندسی شکست می‌تواند در ارتباط با یکدیگر ایجاد و توسعه یابد.

متدلوژی فازی در تشخیص خطا، سیستم‌های *Probist*، قابلیت اطمینان ساختاری، قابلیت اطمینان نرم‌افزاری، قابلیت اطمینان نیروی انسانی، مهندسی ایمنی، مهندسی امنیت، مهندسی ریسک و کنترل کیفیت به صورت *Profust*، *Posbist*و تئوری‌های قابلیت اطمینان *Posfust*براساس تئوری مجموعه‌های فازی *or/and*در «تئوری امکان «استوار است.

بی شک، متدلوژی فازی در مهندسی شکست سیستم، رشدی وسیع داشته است .متدلوژی فازی در مهندسی شکست سیستم، بسیار نقش داشته و هیچ‌گاه نباید نادیده گرفته شود .تقریباً مسائل بسیار زیادی در مهندسی شکست سیستم وجود دارد که به کمک متدلوژی فازی نیازمند است .همچنین مسائل مختلفی در مهندسی شکست سیستم وجود دارد که به صورت تئوری به فازی وابسته است .می‌توان انتظار داشت که متدلوژی فازی کاربرد وسیعی در مهندسی سیستم داشته و جهت مسائل تئوری، منبع بسیار مهمی باشد.

اگر چه، با تمام مطالب ارائه شده، بحث مهندسی عملی « *Online* » در مهندس شکست سیستم حتی با بکارگیری متدلوژی فازی، بسیار ضعیف می‌باشد .شایان ذکر است که مهندسی شکست سیستم به چهار بحث اساسی زیر توجه دارد:

۶ـ۱ـ چرا سیستم با شکست مواجه می‌شود؟

۶ـ۲ـ بحث سیستم‌های وابسته چگونه است؟

۶ـ۳ـ بحث قابلیت وابستگی سیستم چگونه چک می‌شود؟

۶ـ۴ـ سیستم‌های وابسته چگونه تعمیر و نگهداری می‌شوند؟

در اینجا باید اضافه کرد که متدلوژی فازی در مهندسی شکست سیستم در ارتباط با چک کردن وابستگی سیستم کاملاً اشراف دارد .با این حال، هنوز روشن نشده است که آیا تئوری فازی می‌تواند برای مهندسی شکست سیستم به طور کامل توسعه داده شود یا نه. در یک کلام متدلوژی فازی در مهندسی

شکست سیستم بسیار نارس است. جهت عملی شدن این تئوری‌ها و رسیده شدن این نارسی باید کارهای زیادی انجام شود .هنوز متدلوژی فازی آنچنان قوی نیست که متدلوژی‌های دیگر مثل احتمالات را از میدان به در کند، لیکن رفتار شکست سیستم را با دیگر متدلوژی‌ها، متصل و همراه نموده است.

منابع و مآخذ

1 - *Asse,A. Maizener,A. MoreauA. and Willaeys,D.* ***;Diagnosis based on subjective information in a solar energy plant;*** *in: E.Sanchez and L.A.Zadeh, Eds***:,** *Approximate Reasoning in Intelligent Systems***,** *Decision and Control, Pergamon, Oxford, 1988.*

2 - Aven,T. ***;Reliability evaluation of multistate systems with multistate components;*** *IEEE Trans. Reliability R-34 1985.*

3 - Barlow,R.E. ***;Mathematical Theory of Reliability: a historical perspective;*** *IEEE Trans, Reliability R-33, 1984.*

4 - Barlow,R.E. and Proschan,F. ***;Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Models;*** *New York: Holf, Rinbart and Winston, 1975.*

5 - Bastani,F.B. macro,G.D. and Pasquini,A. ***;Experimental Evalvation of a Fuzzy - set based Measure of Software Correctness Using Program Mutation;*** *Proc. IEEE 15th Internat. Conf. on Software Engrg, 1993.*

6 - Bastani,F.B. and Ramamoorthy,C.V. ***;Input - domain - based models for estimating to correctness of process control program;*** *in: Serra,A. and Barlow,R.E. Eds., Theory of Reliability Amsterdam: North-Holland, 1986.*

7 - Cai,K.Y. ***;Fuzzy Reliability theories, Fuzzy Sets and Systems 40;*** *1991.*

8 - Zaideh,L.A. ***;Fuzzy sets;*** *Inform. and Control 8, 1965.*

9 - Cai,K.Y. ***;Q-Scale Measures of Fuzzy Sets;*** *fuzzy Sets and Systemes 66, 1994.*

10 - Cai,K.Y. ***;Elements of Software Reliabitity Engineering;*** *in China; Tsinghva University press, Beijing, 1995.*

11 - Cai,K.Y. Wen,C.Y. and Zhang,M.L. ***;Nature of Human Reliability Behavior;*** *in: G.E.Apostolakis, Ed., Probabilistic Safety Assessment and Management (Elseviesr, Amsterdam, 1991.*

12 - Cai,K.Y. WenC.Y. and Zhang,M.L. ***;A Critical Review on Software Reliablity Modeling;*** *Reliability Engrg, System Safety 32, 1991.*

13 - Cai,K.Y. WenC.Y. and Zhang,M.L. ***;Fuzzy Reliability Modeling of Gracefully Degradable computing systems;*** *Reliability Engrg. System Safety 33, 1991.*

14 - Cai,K.Y. Wen,C.Y. and Zhang,M.L. ***;Survivability Index for CCNs: a measure of fuzzy reliability;*** *Reliability Engrg, System Safety 33, 1991.*

15 - 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.*

16 - Cai,K.Y. Wen,C.Y. and Zhang,M.L. ***;Fuzzy States as a Basis for a Theory of Fuzzy Reliability;*** *Microelectron. Reliability 33, 1993.*

17 - Gai,K.Y. Wen,C.Y. and Zhang,M.L. ***;A Novel Approach to Software Reliability Modeling, Microelectron;*** *Reliability 33, 1993.*

18 - Ebert,C. Rule - ***;based fuzzy classification for software quality control;*** *Fuzzy Sets and Systems 63, 1993.*

19 - Chen,S.M. ***;Fuzzy System Reliability Analysis Using Fussy Number Arithmetic Operations;*** *Fuzzy Sets and Systems 64, 1994.*

20 - Cutello,V. Montero,J. and Yanez,J. ***;Structure Functions with Fuzzy States, Fuzzy Sets and Systems;*** *83, 1996.*

21 - Decooman,G. ***;An Modeling Possibilistic Uncertainty in Two State Reliability theory;*** *Fuzzy Sets and Systems 83, 1996.*

22 - Cen,Y.T. ***;Fuzzy Quality and Analysis on Fuzzy Probability;*** *Fuzzy Sets and Systems 83; 1996.*

23 - Evans,G.W. Karwowski,W. and Wilhelm,M.R. ***;Introduction to Fuzzy Set Methodologies for Industrial and Systems Engineering;*** *in: G.W. Evanrs, W.Karwowski and M.R.Wilhelm, Eds., Applications of fuzzy Set Methodologies in Industrial Engineering Elsevier, Amsterdam, 1989.*

24 - Feagans,T.B. and Biller,W.F. ***;Fuzzy Concepts in the Analysis of Public Health Risks;*** *in: P.P.Wang and S.K. Chang, Eds., Fuzzy Sets plenum perss, New York, 1980.*

25 - Feigenaum,A.V. ***;Total Quality Control: Engineering and Management;*** *NewYork: McGrawHill, 1961.*

26 - P.M.Frank, ***;Application of Fuzzy logic to process supervision and foult diagnisis;*** *in: T.Ruokonen, Ed., Fault Detection, Supervision and Safety for Technical Processes (Pergamon, Oxford, 1994*

27 - Franus,E.A. ***;The Frame Model of Reliability;*** *in: Karwowski and A.Mital, Eds., Applications of Fuzzy Set Theory in Human Factors Elsevier, Amsterdam, 1986.*

28 - Furuta,H. and Shiraishi,N. ***;Fuzzy Importance in Fault Tree Analysis;*** *Fuzzy Sets and Systems 12, 1984.*

29 - Graham,I. ***;Object Oriented Methods;*** *(Addison-Wesley,Reading,MA, 1991.*

30 - Graham,J.H. ***;A Fuzzy Logic Approach for Safety and Collision Avoidance in Robotic Systems;*** *in: P.Brodener and W.Karwowski, Eds., Ergonomics of Hybrid Automated Systems III, Elsevier, Amsterdam, 1992.*

31 - Gupta,S.D. and AP-Musawi,M.J. ***;Reliability Optimization in Cable System Design Using a Fuzzy Uniform - Cost Algorithm;*** *IEEE Trans . Reliability 37, 1988.*

32 - Horiuchi,K. and Murakami,H. ***;Extension of the Concept of Mappings Using Fuzzy Sets;*** *Fuzzy Sets and Systems 56, 1993.*

33 - Hryniewicz,O. ***;Lifetime Tests for Imprecise Data and Fuzzy Reliability Reguirements;*** *in: T.Onisawa and J.Kacprzyk, Eds., Reliability and Safety Analysis under Fuzziness; Physica - Verlag, 1995.*
34 - Hsiao,D.K. Kerr,S. and Madnick,S.E. ***;Computer Security;*** *Academic Press, New york, 1979.*
35 - Ikanagawa,A. and Ohta,H. ***;Fixed - time life tests based on Fuzzy Life Characteristic;*** *IEEE Trans. Reliability 41, 1992.*
36 - Kamdai,A. ***;fuzzy Techniquies Recogintion;*** *Wiley NewYork, 1982.*
37 - Karwowski,W. and Mital,A. Eds. ***;Applications of Fuzzy Set Theory in Human Factors;*** *Amsterdam: Elsevier, 1986.*
38 - Karwowski,W. and Mital,A. ***;potential applications of fuzzy sets in industrial safety engineering;*** *Fuzzy Sets and Systems 19, 1986.*
39 - Kaufmann,A. ***;Introduction to the Fuzzy Subset;*** *Vol.1, NewYork: Academic Press, 1975.*
40 - Keller,A.Z. and Kara,C. - Zaitri, ***;Further Applications of Fuzzy Logic to Reliability Assessment and Safety Analysis;*** *Microelectron, Reliability 29, 1989.*
41 - Kenarangui,R. ***;Event - Tree analysis by Fuzzy Probability;*** *IEEE Trans. Reliability 40, 1991.*
42 - Liang,G.S. and Wang,M.J. ***;Evalvation Humanr Reliability using Fuzzy Relation;*** *Microelectron. Reliability 33, 1993.*
43 - Littlewood,B. and Strigini. ***;Validation of Ultra Deprndability for Software - based systems;*** *Comm. ACM 36(11), 1993.*
44 - Misra,K.B. ***;Multistate Fault Tree Analysis using Fuzzy Probability Vectors and Resolution Identity;*** *in: T.Onisawa and J.Kacprzyk, Eds., Reliability and Safety Analyses under Fuzziness Physica - Verlag , Heidelberg, 1995.*
45 - Nagasawa,S. ***;An Application Fuzzy Structural Modeling to Relation Diagram Method in Quality control;*** *in: T.Onisawa and J.Kacprzyk, Eds., Reliability and Safety Analysis under Fuzziness Physica - Verlag, Heidelberg, 1995.*
46 - Nakanishi,H. TurksenI.B. and Sugeno,M. ***;A Review and Comparison of Six Reasoning method;*** *Fuzzy Sets and Systems 57, 1993.*
47 - Nowakowski,M. ***;The Human Operator: Reliability and Language of Action Analysis;*** *in: W.Karwowski and A.Mital, Eds., Applications of Fuzzy Setes Theory in Humar Factors (Elsevier, Amsterdam, 1986.*
48 - Onizawa,T. and Nishiwaki,Y. ***;Fuzzy Human Reliability Analysis on The Chernobyl Accident;*** *Fuzzy Sets and Systems 28, 1988.*
49 - Park,K.S. ***;Fuzzy Apportionment of System Relibility;*** *IEEE Trans. Reliability 36, 1987.*
50 - Park,K.S. and Kim,J.S. ***;Fuzzy Weighted - Checklist with Linguistic Variables;*** *IEEE Trans. Reliability 39, 1990.*
51 - Pouliezos,A.D. and Stavrakakis,G.S. ***;Real-Time Fault Monitoring of Industrial Processes;*** *Kluwer, Dordrecht, 1994.*
52 - Rinc,D.C. ***;Possibility Theory: As a Tool for Preliminary Analysis of Computer systems;*** *in: M.M.Gvpta and E.Sanchez, Eds., Fuzzy Information and Decisian Processes (North - Holland, Amsterdam, 1982*