

فصل دوم :

ادبیات و پیشینه تحقیق

1.2 : مقدمه :

FMEA یکی از ابزارهای موثر جهت پیش‌بینی خطا و پیدا کردن کم هزینه‌ترین راه حل برای جلوگیری از بروز خطاست که به عنوان یکی از تکنیکهای تحلیل قابلیت اعتماد مطرح شده است. همان‌طور که در فصل قبل گفته شد، در ابتدا در انجام FMEA و به منظور برآورد ریسک شکستها تنها از اعداد دقیق استفاده می‌شد اما به دلیل مشکلاتی که در برآورد دقیق فاکتورهای ریسک وجود داشت و نیز مشکلات دیگری که در استفاده از RPN سنتی موجود بود، منطق فازی در FMEA مطرح گردید. منطق فازی ابزاری برای کار مستقیم با عبارات زبانی استفاده شده در انجام برآوردها، تهیه می‌کند. بنابراین در یک برآورد بحرانیت براساس منطق فازی، به تحلیل‌گر اجازه داده می‌شود که ریسک بیان شده با الگوی شکست آیت‌ها را به یک روش طبیعی و بدون نیاز به برآورد دقیق آنها، ارزیابی کند و اعمال مناسب می‌تواند اتخاذ شود. همچنین خودکار کردن FMEA به منظور جمع‌آوری کردن داده، اداره کردن پایگاه داده و تدوین گزارش خودکار، یک هدف عمده در تحلیل قابلیت اعتماد می‌باشد که به سه روش: شبیه‌سازی عددی، سیستم‌های خبره و استدلال علی صورت می‌گیرد. نقشه‌های شناختی فازی نیز یکی از تکنیکهای استدلال علی است که می‌توان از آن در مدل‌بندی FMEA و به منظورهای مختلف از جمله پیدا کردن و ارزیابی علت شکستها، استفاده کرد.

لذا در ادامه این فصل ضمن انجام مروری بر کارهای انجام گرفته در زمینه FMEA فازی، مروری خواهد شد بر انواع روشهای خودکارسازی FMEA، همچنین معایب هریک از روشهای شبیه‌سازی عددی و سیستم خبره مطرح خواهد شد. سپس مطالعه ادبیات و پیشینه تحقیق در روش استدلال علی با نقشه‌های شناختی فازی، صورت می‌گیرد. ضمناً در این فصل به توضیحاتی راجع به مدل‌بندی با استفاده از نقشه‌های شناختی فازی پرداخته می‌شود.

2.2: مرور ادبیات FMEA :

استفاده از FMEA برای اولین بار در اواسط دهه 1960 در صنایع هوا فضایی ایالات متحده آمریکا مشخصاً جهت ساخت سفینه آپولوی 11 در ناسای آمریکا مشاهده شده است و پس از آن در دهه 1970-1980 روش FMEA برای مؤسسات اتمی مورد استفاده قرار گرفت و همچنین از سال 1977 به بعد در صنایع خودروسازی به کار گرفته شده است و حالا FMEA وسیله‌ای است که توسط بسیاری از شرکت‌های بزرگ و کوچک در سراسر جهان به منظور تشخیص، اولویت‌بندی و حذف شکست‌های بالقوه و خطاهای سیستم‌های تحت طراحی، قبل از اینکه محصول یا خدمت به دست مشتری برسد؛ انجام می‌گیرد. [56]

در طی سالهای اخیر FMEA یک قسمت مهم از طراحی‌های مهندسی بوده است و اغلب این روش یک ابزار لازم در صنعت هوا فضا و اتومبیل سازی بوده است. آژانس‌های دولتی، Air Force، Navy بایستی FMEA را بر روی سیستم‌هایشان برای اطمینان از قابلیت اعتماد آنها، اجرا کنند. نکته قابل توجه اینکه، صنعت اتومبیل‌سازی نیز آن را در مراحل طراحی، تولید و مونتاژ اتومبیل‌ها پذیرفته است. گاهی متدلوژی FMEA در مسئله ذوب هسته‌ای نیز استفاده شده است. [37]

از زمانی که FMEA در دهه 60 توسعه یافت 4 نوع کلی از آن پدید آمده است:

- FMEA در طراحی¹ (DFMEA)
- FMEA در فرآیند² (PFMEA)
- FMEA در سیستم³ (SFMEA)
- FMEA در خدمات⁴

¹ Design FMEA

² Process FMEA

³ System FMEA

⁴ Service

همراه با تقاضا برای قابلیت اعتماد بیشتر، FMECA آغاز شد که ضمن مطالعه شکستهای مولفه‌ها، برای در بر گرفتن اثرات شکست مولفه‌ها، گسترش یافت. در واقع، یک FMECA یک اساس برای تشخیص الگوهای شکست مولفه‌ها تهیه می‌کند و برای ارزیابی ایمنی مولفه‌های سیستم‌های مختلف و تشخیص اصلاحات طراحی و اعمال اصلاحی مورد نیاز برای از بین بردن اثرات شکست بر سیستم به کار می‌رود و نیز در طراحی اعمال نگهداری سیستم، طراحی زیر سیستم‌ها و به عنوان چارچوبی برای تشخیص شکست سیستم‌ها به کار می‌رود. در ارتش، هوافضا و صنایع هسته‌ای که موضوعات ایمنی از اهمیت عمده‌ای برخوردارند؛ FMECA یک فرآیند ضروری در مرحله تدوین تصویری و شناختی تا مراحل طراحی و آزمایش می‌باشد.

در زمینه FMEA، مطالعه‌ای توسط شهرام امیری انجام گرفته است؛ [54] که ضمن معرفی تکنیک FMEA، به زمینه‌های تاریخی و مفاهیم این روش اشاره شده است و دو نوع FMEA (طراحی و فرآیند) در رابطه با صنعت خودرو تشریح گردیده است و سپس چگونگی به کارگیری این روش در یکی از صنایع وابسته به خودرو تشریح شده است.

در FMEA های مرسوم، اولویت حالات خطا یا شکست را با اعداد اولویت ریسک محاسبه می‌نمودند که از حاصلضرب سه فاکتور ریسک یعنی وقوع و قابلیت تشخیص و شدت اثر حاصل می‌شد که هریک از این فاکتورها را با اعداد دقیقی که توسط افراد خبره و یا از آمارهای موجود به دست می‌آمد برآورد می‌کردند. اما RPN های دقیق یا قطعی به طور قابل ملاحظه‌ای به دلایل مختلف رد می‌شوند:

- بعضی از مقادیر یکسان RPN، می‌تواند با ترکیبات مختلفی از O، S و D به دست آید.
- مقادیر یکسانی از O، S و D می‌تواند درجات مختلفی از ریسک را بیان کند که این تفسیر اعداد به دست آمده از RPN را مشکل می‌کند.
- اهمیت نسبی میان O، S و D در نظر گرفته نشده است.

- اینکه دقیقاً تخمین زده شود که مقادیر واقعی این سه فاکتور چند است، کار سختی است.
- RPN فقط سه فاکتور اساسی را در مورد ایمنی در نظر می‌گیرد دیگر فاکتورهای مهم از قبیل جنبه‌های اقتصادی مسئله نادیده گرفته می‌شود.
- دیگر نقص RPN مربوط است به بازگویی الگوهای شکست با مشخصات مختلف. برای مثال یک RPN مساوی با 64 ممکن است که از 10 ترکیب مشابه O, S و D حاصل شود.
- یک نکته قابل توجه این است که بعضی از اعداد بین 1 تا 1000 نمی‌توانند از حاصلضرب این سه عدد به دست آیند و تنها 120 عدد از این 1000 عدد با حاصلضرب این سه عدد که از 1 تا 10 تغییر می‌کنند حاصل می‌گردند. [38]

برای غلبه بر مشکلات فوق، منطق فازی به طور گسترده‌ای در FMEA به کار می‌رود و بنابراین فاکتورهای ریسک O, S و D را با استفاده از منطق فازی میتوان ارزیابی کرد و یک عدد اولویت ریسک فازی، برای اولویت‌بندی ریسک شکستها تدوین نمود.

3.2: مرور ادبیات FMEA فازی:

برای غلبه بر مشکلات و کمبودهای FMEA سنتی تلاشهای مهمی در زمینه FMEA فازی انجام گرفته است. از جمله اینکه، منطق فازی به طور گسترده‌ای در FMEA استفاده شده است. به طور کلی از سال 1995 مطالعاتی در زمینه FMEA فازی انجام گرفته است. [58]

باولز¹ و پلرز² [7]، یک رویکرد بر اساس منطق فازی برای اولویت‌بندی شکستها در سیستم FMEA بیان کردند. آنها در رویکرد پیشنهادیشان ابتدا هریک از فاکتورهای ریسک را به صورت اعداد دقیق وارد نمودند. نرخهای دقیق برای O, S و D سپس برای انطباق با هر قانون «اگر- آنگاه» ممکن، فازی گردیدند. یعنی توابع عضویت‌هایی با استفاده از عبارات زبانی برای هریک از فاکتورهای

¹Bowles

² pelaez

ریسک تعریف نموده و در واقع فرآیند فازی سازی را برای این فاکتورهای ورودی انجام دادند. روابط بین ریسک ها و O، S و D به وسیله قوانین «اگر-آنگاه» فازی تعیین شدند که از دانش و تجربه افراد خبره اقتباس گردیده است. در نتیجه ریسک پذیری هر یک از الگوهای شکست همراه با یک درجه بیان کننده عضویت، تعیین می گردد. این خروجی های فازی، سپس برای تعیین سطح اولویت بندی برای الگوهای شکست، دی فازی می گردند.

بر اساس رویکرد منطق فازی توضیح داده شده در بالا¹ و همکارانش [53] یک سیستم خبره تخمین فازی برای توربین گاز موتور دیزل، تدوین نمودند و چین² و همکارانش [16] یک سیستم طراحی محصول براساس FMEA فازی تدوین نمودند که EPDS-1 نامیده شده که در جهت تدوین و طراحی محصول رقابتی امروزی، با تاکید بر طراحی محصولات کیفیت بالا، تکنولوژی های سیستم های بر اساس دانش و منطق فازی را در آن وارد کرده است. سیستم نوعی EPDS-1 شامل 384 قانون «اگر-آنگاه» فازی است و می تواند کاربران بی تجربه را برای اجرای FMEA در بهبود کیفیت و قابلیت اعتماد، ارزیابی طرح های پیشنهادی، انتخاب مواد و برآورد هزینه کمک کند که این امر می تواند به افزایش کیفیت محصولات جدید کمک کند.

پیلی³ و وانگ⁴ [38]، یک رویکرد پایگاه قانون فازی برای اجتناب از استفاده از RPN سنتی پیشنهاد کردند. مرحله اول از رویکرد آنها تعیین توابع عضویت سه فاکتور ریسک O، S و D است. بعد از اینکه این توابع عضویت تعیین شدند FMEA در حالت سنتی با استفاده از تکنیک طوفان مغزی⁵ انجام می گیرد. هر الگوی شکست سپس یک عبارت زبانی برای هر یک از این سه عبارت زبانی تعیین می کند. سه عبارت زبانی را سپس با استفاده از پایگاه قانون فازی برای تولید یک عبارت زبانی که رتبه بندی ریسک شکستها را تعیین کند، یکی می کنند. بعد از اینکه رتبه بندی ریسک شکستها

¹Xu

²Chin

³Pillay

⁴Wang

⁵Brain Storming

انجام گرفت، فرآیند سپس روش سنتی تعیین اعمال اصلاحی و تهیه گزارش FMEA را دنبال می کند. متفاوت با رویکرد منطق فازی باولز و پلز که فاکتورهای ریسک را ابتدا با استفاده از اعداد دقیق بیان نموده و سپس از عبارات زبانی برای ساخت قوانین فازی در ارزیابی فاکتورهای ریسک استفاده می کردند، رویکرد قانون فازی پیلی و وانگ فاکتورهای ریسک را به جای استفاده از اعداد دقیق با عبارات زبانی ارزیابی می کنند که، به نظر می رسد که این منطقی تر باشد زیرا مهمترین هدف استفاده از منطق فازی اجتناب از مشکلات در برآورد دقیق فاکتورهای ریسک است. دیگر تفاوت بین دو رویکرد این است که، رویکرد پایگاه قانون فازی وانگ، هیچ سیستم استنتاج فازی (FIS) ندارد زیرا هر الگوی شکست می تواند با یک قانون «اگر- آنگاه» در پایگاه قانون منطبق شود.

در مقاله ای که توسط کیانفر و همکارانش [58]، کار شده است، درجه اولویت ریسک در مدل FMEA با استفاده از مدل پیشنهادی، که از طریق مقایسه امتیاز هر پارامتر با مقدار مطلوب آن عمل می کند، به دست می آید. در این روش یک مقدار مطلوب از پارامترها تعیین کرده و سپس مقادیر پارامترها برای هر علت را با این مقادیر مقایسه کرده و هر کدام که دارای فاصله زیاد با این مقادیر مطلوب باشد در اولویت قرار داده می شود.

براگلیا² و همکارانش [10] یک رویکرد تصمیم گیری چند شاخصه که رویکرد TOSIS فازی برای FMECA نام دارد پیشنهاد کردند که نسخه فازی از تکنیک TOSIS، برای ترتیب ترجیحات با تشابه به راه حل ایده آل می باشد. رویکرد TOSIS فازی پیشنهادی به فاکتورهای ریسک S، O و D و وزنهای اهمیت نسبی آنها اجازه می دهد که با اعداد فازی مثلثی ارزیابی گردند.

گارسیا³ و همکارانش [19] یک رویکرد تحلیل پوششی داده های فازی (DEA)⁴، استفاده کردند که در آن فاکتورهای ریسک نوعی FMEA، یعنی O، S و D به صورت مجموعه های فازی

¹ Fuzzy Inference system

² Braglia

³ Garcia

⁴ Data Envelopment Analysis

مدل‌بندی شدند و مدل DEA امکان فازی برای تعیین رتبه‌بندی شاخصهای بین الگوهای شکستها به کار برده شد.

کورایم^۱ و ايراونی^۲ [20] یک تحقیق با استفاده از رویکردهای FMEA^۳, QFD انجام داده‌اند که کیفیت و قابلیت اعتماد رباتهای مکانیکی 6R,3P را بهبود می‌بخشد. محققان به منظور اصلاح قابلیت اعتماد رباتها و کاهش ریسک‌هایشان، اعمال اصلاحی را برای موارد بحرانی پیشنهاد کرده‌اند. استفاده از QFD به محققان کمک کرده تا کیفیت ربات‌ها را بهبود بخشیده و آنها را در تطبیق با نیازهای مشتریان تولید کنند. در این روش، با ساختن چهار ماتریس؛ مقادیر بهینه برای همه پارامترهای تکنیکی تعیین شده و محصول نهایی کیفیت مطلوب را خواهد داشت.

ساختن یک پایگاه قانون «اگر- آنگاه» فازی به نظر می‌رسد که در FMEA فازی کار طاقت- فرسا و زمان‌بری باشد؛ بنابراین براگلیا و همکارانش [9]، این بار یک تابع ریسک پیشنهاد کردند که به قوانین «اگر- آنگاه» فازی اجازه می‌دهد که به صورت خودکار تدوین شوند. تابع ریسک، برای ارزیابی ریسک شکستها، RPN نرمال شده را، به عبارات زبانی مربوطه، متناظر می‌سازد. هر RPN نرمال شده به صورت $\frac{RPN}{1000}$ در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال، اگر احتمال یک الگوی شکست، «متوسط»، شدت اثر، «زیاد»، و قابلیت تشخیص، «ضعیف» باشد پس، RPN نرمالیز شده

$\frac{5*7*7}{1000}=0.254$ خواهد بود که 5،7،7 به ترتیب مقادیر مد این سه تابع عضویت هستند. فرض کنید RPN نرمالیز شده (0.254) متعلق به مجموعه فازی متوسط در تابع ریسک باشد پس قانون «اگر- آنگاه» فازی به این صورت تدوین خواهد شد که اگر احتمال یک الگوی شکست، «متوسط» باشد، شدت، «زیاد» و قابلیت تشخیص، «ضعیف» باشد پس ریسک شکست، «متوسط» خواهد بود. آنها در کارشان همچنین، تابع ریسک پیشنهادی و FMEA فازی را برای یک تحلیل ریسک مربوط به یک خط تولید ایتالیایی آسیاب کردن آرد مصرفی انسانی، به کار برده‌اند. از مشکلات آشکار این روش،

¹ Korayem

² Iravani

³ Quality Function Deployment

نیاز به تعریف کردن تابع ریسک است که ممکن است از دیدگاه تصمیم گیرنده درباره ریسک، متاثر باشد.

تی^۱ و لیم^۲ [48] استدلال کردند که ممکن است صحیح نباشد که فرض کنیم قوانین «اگر-آنگاه» فازی، معین هستند و از اهمیت یکسانی برخوردارند. بنابراین آنها استفاده از قوانین فازی وزنی را در سیستم استنتاج فازی از FMEA پیشنهاد کردند. یک قانون «اگر-آنگاه» فازی با یک وزن سراسری می تواند به روش زیر بیان شود :

اگر وقوع، «خیلی زیاد» و شدت ، «خیلی زیاد» و قابلیت تشخیص، «خیلی کم» باشد، پس RPN، «زیاد» با وزن (0.95) است.

اگر وقوع، «خیلی زیاد» و شدت ، «خیلی زیاد» و قابلیت تشخیص، «خیلی کم» باشد، پس RPN، «به طور متوسط زیاد» با وزن (0.05) است.

به عبارتی قانون «اگر-آنگاه» بالا به مقدمه های یکسان اجازه می دهد که به نتیجه های مختلف منجر شوند: اولی «زیاد» با مقدار اطمینان (0.95) و دومی «به طور متوسط زیاد» با اطمینان (0.05).

تی و لیم [49] همچنین استدلال کردند که آوردن همه قوانین در مدل RPN فازی نیاز نیست و حذف کردن بعضی از قوانین ضرورتاً منجر به تغییر مهمی در خروجی مدل نخواهد شد. با این حال بعضی از قوانین اهمیتی حیاتی دارند و نمی توان آنها را نادیده انگاشت. بنابراین آنها به منظور تهیه راهنمایی برای کاربران که کدام قوانین ضروری و کدام یک قابل حذف کردن هستند یک سیستم کاهش قوانین راهنما پیشنهاد کردند³(GRRS). کارایی GRRS پیشنهادی با استفاده از سه مطالعه موردی در یک فرآیند تولید نیمه رساناها مورد بررسی قرار گرفته است.

¹ Tey

² Lim

³ Guided Rules Reduction System

این کاهش قوانین توسط بسیاری از محققان به منظور کاهش اندازه پایگاه قانون فازی به کار رفته است. در کار پیلی و وانگ [38]، کاربرد گویایی از این موضوع، در صنعت ماهیگیری در اقیانوس آورده شده است که در کل 124 قانون وجود داشته است اما سپس ترکیب شده و به 35 قانون تقلیل یافته است یک کاهش قانون نوعی در زیر بیان شده است:

قانون 1: اگر احتمال وقوع، «متوسط» و شدت، «کم»، و قابلیت تشخیص، «زیاد» باشد پس اولویت برای رسیدگی (0.66) متوسط و (0.94) نسبتا زیاد است.

قانون 2: اگر احتمال وقوع، «کم» و شدت، «متوسط»، و قابلیت تشخیص، «زیاد» باشد پس اولویت برای رسیدگی (0.66) متوسط و (0.94) نسبتا زیاد است.

قانون 3: اگر احتمال وقوع، «متوسط» و شدت، «زیاد»، و قابلیت تشخیص، «کم» باشد پس اولویت برای رسیدگی (0.66) متوسط و (0.94) نسبتا زیاد است.

قوانین 1 و 2 و 3 سپس به صورت زیر ترکیب خواهند شد:

اگر احتمال وقوع، «متوسط» و شدت، «کم»، و قابلیت تشخیص، «زیاد» یا هر ترکیب دیگری از این سه عبارت زبانی برای این سه فاکتور ریسک باشد پس اولویت رسیدگی (0.66) متوسط و (0.94) نسبتا زیاد است.

کاهش قانون بالا ظاهرا دلالت دارد بر اینکه این سه فاکتور ریسک از اهمیت یکسانی برخوردارند در غیر این صورت، ترکیبات مختلفشان نباید به نتایج یکسانی منجر شود. شارما¹ و همکارانش [42] تعداد 27 قانون «اگر – آنگاه» فازی در FMEA فازیشان برای یک سیستم تغذیه کننده آب کمکی در یک PWR دو حلقه‌ای به کار بردند. باید به این مسئله توجه داشت که کاهش قانون به این معنا نیست که یک پایگاه قانون «اگر – آنگاه» کامل، ضروری نیست بلکه برعکس این

¹ Sharma

کاهش قانون فقط براساس یک پایگاه قانون کامل انجام می‌گیرد در غیر این صورت کاهش پایگاه قانون کاهش یافته ناقص خواهد بود و شامل اطلاعات ناشناخته است و هر استنتاج از یک پایگاه قانون ناقص، نادقیق خواهد بود و بایستی از آن اجتناب نمود.

در مقاله‌ای که توسط وانگ¹ و همکارانش در [52] کار شده است، فاکتورهای ریسک به صورت متغیرهای فازی تلقی شده و ارزیابی آنها با استفاده از عبارات زبانی فازی صورت گرفته است. اعداد اولویت ریسک فازی FRPN برای اولویت‌بندی الگوهای شکست استفاده شده است. FRPN ها به عنوان میانگین هندسی وزنی فازی نرخهای فازی برای S ، O و D تعریف شده‌اند و می‌توانند با استفاده از مجموعه‌های سطح α و روشهای برنامه‌ریزی خطی محاسبه شوند. به منظور رتبه‌بندی، FRPN ها با استفاده از روش دی‌فازی مرکزی، دی‌فازی شده‌اند که در آن یک فرمول دی‌فازی جدید بر اساس مجموعه‌های سطح α نتیجه گرفته شده است. یک مثال عددی نیز برای روشن شدن کاربردهای بالقوه رویکرد پیشنهادی تهیه شده است.

4.2: مرور ادبیات خودکارسازی FMEA:

تحلیل FMEA خودکار با استفاده از سه رویکرد تکنیکی اولیه انجام می‌شود: شبیه‌سازی عددی، سیستم‌های خبره و استدلال علی. هریک از این سه رویکرد مزایا و معایبی دارند.

1.4.2: شبیه‌سازی عددی:

شبیه‌سازی عددی یکی از نخستین رویکردها به سمت خودکارسازی FMEA است. با این تکنیک، تحلیل با جایگزین کردن معادلات بیان‌کننده رفتار نرمال برای یک مؤلفه سیستم با یک مجموعه از معادلات بیان‌کننده وضعیت شکست مؤلفه‌ها اجرا می‌شود، سپس رفتار سیستم را می‌توان با اجرای شبیه‌سازی با شکست اعمال شده، پیش‌بینی و گزارش نمود.

¹ Wang

بعضی از معایب شبیه‌سازی عددی واضح است. باولز و پلز در [37] معایب استفاده از شبیه‌سازی عددی را اینچنین بیان کرده‌اند.

- یکی از معایب شبیه‌سازی عددی، تعریف معادلات شبیه‌سازی برای توصیف مؤلفه‌های شکست خورده است. برای مثال، یک مقاومت را در نظر بگیرید که الگوی شکست آن «تغییر در مقدار است». معنی این شکست ممکن است بسته به مقدار واقعی تغییر، خیلی گسترده باشد. اثر آن ممکن است که برای تغییرات کوچک در بعضی شرایط، قابل اغماض باشد و در بعضی شرایط دیگر، اثرات فجیعی داشته باشد. مشکلات دیگر مربوط به وضعیتهایی است که در آن تغییرات بزرگ یا کوچک در مقادیر مقاومت قابل تحمل باشد اما عدم ثبات برای بعضی رنج‌های کوچک از مقادیر مقاومت نتیجه شود. به وضوح ممکن است که تکنیکهای پیچیده‌تری مانند تحلیل فاصله یا شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای تحلیل این الگوهای شکست نیاز باشد.

- دیگر عیب شبیه‌سازی عددی، تفسیر اثرات شکست بعد از اجرای شبیه‌سازی عددی است. شبیه‌سازی آنچه را که ضرورتاً یک نمودار از اعداد است تولید می‌کند. برای مثال، در سیستم‌های الکتریکی آنها ولتاژ، جریانها و دیگر پارامترهای عددی را بیان می‌کنند. به هر حال برای اجتناب از جزئیات غیرضروری، در گزارشهای FMEA اغلب نیاز داریم آنها را در قالب عبارات سمبلیک و کیفی بیان کنیم. بنابراین بعد از فرآیند شبیه‌سازی، نیاز داریم که اعداد نتیجه شده را با اعداد بیان‌کننده وضعیت نرمال مقایسه کنیم؛ اختلاف را به وسیله اثرات تفسیر کنیم و آنها را با عبارات زبانی گزارش کنیم.

- نقص عمده شبیه‌سازی عددی، زمان مورد نیاز برای اجرای آن است. سیستم شبیه‌ساز ممکن است که حتی برای تحلیل حالت نرمال، به علت تعداد تکرارهایی که برای همگرایی عددی مورد نیاز است؛ بسیار کند باشد.

در زمینه شبیه‌سازی عددی و خودکارسازی FMEA نیز، پرایس^۱ و تیلر^۲ [39] یک تحقیق بر روی FMEA چند شکسته خودکار انجام داده‌اند. آنها نشان داده‌اند که چگونه نرخهای شکست تقریبی برای مؤلفه‌ها می‌تواند برای انتخاب محتمل‌ترین ترکیبات شکستها برای تحقیقات خودکار با استفاده از شبیه‌سازی به کار روند. در کارهایی که توسط این محققان و نیز همکارانشان انجام گرفته است از تولید خودکار گزارشهای FMEA، برای سیستمهای الکتریکی استفاده شده است. تعدادی نرم افزار تجاری در بازار در دسترس هستند و توسط شرکتهای اصلی خودروسازی به کار می‌روند. Autosteve نتیجه اینچنین تلاشهایی است که در گذشته انجام شده است. در واقع پرایس و تیلر FMEA خودکار را یک گام به جلو بردند. یعنی خودکارسازی کار تولید یک گزارش FMEA جدید، شامل یک تحلیل از اثرات مهم شکستهای چندتایی که به خوبی شکستهای منفرد انجام می‌گرفت.

2.4.2: سیستم‌های خبره :

در سیستم‌های خبره، به بیان دانش افراد خبره درباره اینکه چگونه الگوهای شکست مؤلفه‌ها می‌تواند بر سیستم تاثیر بگذارد، پرداخته می‌شود. این چنین رویکردهایی شامل تفسیر یک مجموعه بزرگ از الگوهای شکست، همراه با اطلاعات مربوط به اثرات آنها و تدوین تکنیکهایی برای ترویج اثرات در روابط ورودی- خروجی سیستم است. رویکرد سیستم خبره، برای غلبه بر بعضی از مشکلات شبیه‌سازی مناسب است. اطلاعاتی درباره اینکه چگونه مؤلفه در طراحی استفاده شده است، می‌تواند با استفاده از قوانین، جدولها یا دیگر وسایل بیان صریح، مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین خواه در قالب قوانین، خواه در هر مکانیسم بیان دیگری به کار روند، مشکلات مربوط به انتخاب معادلات بیان کننده مؤلفه‌های شکست خورده را کاهش می‌دهند و نیز مشکلات محاسباتی مربوط به چندین بار اجرای شبیه‌سازی را نیز از بین خواهند برد.[35]

¹ Price

² Tayler

به علاوه قوانین مورد نیاز سیستم خبره می‌تواند با استفاده از همان اطلاعاتی که در یک گزارش FMEA استفاده می‌شود، نوشته شوند.

نقص سیستم‌های خبره این است که برای رسیدن به مرحله‌ای از دانش، که همه الگوهای شکست مؤلفه‌ها و اطلاعات توپولوژیک سیستم تفسیر شوند؛ به مقدار بسیار زیادی در چالش می‌باشد.

یک سیستم خبره، به عبارت محاسباتی ساده؛ یک درخت تصمیم با یک مکانیسم جستجوی گرافیکی است. یک ساختار درخت جستجو تقریباً در زمینه هر سیستم خبره قرار دارد. زیرا در غیر این صورت، الگوریتم استنتاج استفاده شده در این سیستم در حلقه‌های منطقی نامتناهی خواهد افتاد. ساختارهای عمومی که جستجوی درختی را می‌پذیرند عبارتند از: درختهای منطقی، درختهای مارکو، درختهای علی‌بیزی و سیستم‌های براساس قاعده. [29]

باولز و پلزد [35] سه مسئله اساسی را درباره بیان‌های درختی بیان کرده‌اند:

- اول اینکه درختها ایستا هستند، آنها هیچ رفتار پویایی ندارند، بازخوردها نمی‌توانند به وسیله یک درخت بیان شوند (حداقل نه به صورت طبیعی) و ممکن است انتظار برود که در بسیاری از سیستم‌هایی که بخواهیم مدل‌بندی کنیم، از بازخوردها نیز استفاده کنیم. (البته لازم به ذکر است که امروزه درختهای پویا هم وجود دارند)
- دوم اینکه زمان جستجو با اندازه شاخه‌های درخت افزایش می‌یابد.
- سوم اینکه درختهایی که بر یک مجموعه مشترک از مؤلفه‌ها تعریف شده‌اند به طور طبیعی برای ترکیب و تولید یک درخت ترکیب نمی‌شوند. (در حقیقت، آنها ممکن است که یک چرخه را تشکیل دهند) در حالت عمومی ممکن است که نیاز باشد دو درخت یا بیشتر را ناچار باشیم که به یک درخت واحد تبدیل کنیم و درختهای جستجو عموماً ترکیب‌پذیر نیستند، و این دلیل این موضوع است که چرا سیستم‌های خبره را با تعداد کمی از افراد خبره تشکیل می‌دهند. در حالت ایده‌آل فرآیند اکتساب دانش بایستی به هر یک از افراد خبره اجازه

دهد که سیستم‌های خبره خود را تشکیل دهند این پایگاههای دانش فردی، سپس بایستی در یک پایگاه دانش که نماینده آنها محسوب می‌شود ترکیب شوند. به طور کلی انتظار می‌رود که اندازه نمونه‌های خبره بزرگتر، پایگاههای دانش قابل اعتمادتری تولید کنند، اما با درختهای جستجو که به صورت ذاتی ترکیب ناپذیر هستند، اندازه نمونه‌های بزرگتر پایگاههای دانشی تولید می‌کنند که کمتر قابل اعتماد هستند.

در زمینه سیستم‌های خبره، سنکر¹ و پراهو² [41] یک رویکرد تدوین یافته را برای اولویت-بندی شکستها در یک FMEA سیستم بیان کرده‌اند که از رتبه‌های 1-1000 که رتبه‌های اولویت ریسک³ (RPRs) نام دارند برای بیان افزایش ریسک از 1000 ترکیب ممکن شدت، وقوع، قابلیت تشخیص استفاده کرده‌اند. این هزار ترکیب ممکن به وسیله یک فرد خبره به ترتیب ریسک صعودی فهرست شده‌اند و می‌توانند به صورت قوانین «اگر-آنگاه»، تفسیر شوند و به شکستی که بالاترین ریسک را دارد بالاترین اولویت داده می‌شود.

3.4.2: استدلال علی :

رویکرد استدلال علی رویکردی است که در آن استدلال درباره سیستم‌های پیچیده به وسیله ساختار و رفتار آنها صورت می‌گیرد. مؤلفه‌ها به وسیله علتها و رفتار موثری که آنها بین ورودی‌ها و خروجی‌ها و وضعیتهای درونی‌شان نشان می‌دهند، توضیح داده می‌شوند. یک مدل علی از سیستم هدف، مستقیماً به وسیله بیان ساختار یا رفتار سیستم به صورت گرافیکی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع یک استدلال علی، سیستم تشخیصی است که از مدل رفتار سیستم، برای استنتاج اینکه کدام شکستها می‌توانند علت علائم مشاهده شده باشند، استفاده می‌کند و فقط یک نقشه ساده از علائم به شکستها نمی‌باشد. این رفتار علت و اثر می‌تواند با عبارات سمبلیک یا مجزا، با استفاده از FCM ها، مدل‌بندی شوند.

¹ Sankar

² Prahu

³ Risk Priority Ranking

رویکرد استدلال علی بر بسیاری از مشکلات ذکر شده برای شبیه سازی عددی غلبه کرده است؛
اولا کار کردن در آن با استدلال مستقیم با عباراتی زبانی از قبیل «کوچک» یا «بزرگ» صورت می گیرد
و نیازی نیست که مقادیر عددی ویژه تعیین شوند.

ثانیا مشکلات مدل بندی الگوهای شکست به مقدار زیادی کاهش یافته است و نیز مشکلات
مربوط به همگرایی عددی نیز به دلیل بیان مقادیر به صورت حدودی و غیر دقیق، کاهش یافته است و
بهرتر از همه آنکه، استدلال علی در قالب زبان FMEA اجرا می شود.

یک گراف جهتدار یک ساختار بیان دانش است که بر مشکلات درختهای جستجو فائق آمده
است. در حالت عمومی، یک نقشه شناختی فازی یک گراف جهتدار همراه با بازخوردها است. یک
FCM گسترشی بازخوردی از یک درخت جستجو است که به صورت گرافیکی عدم قطعیت ها و
استدلال علی را بیان می کند. [35]

چرخه های FCM و ارائه ماتریسی آن به بازخوردها اجازه می دهند که به صورت طبیعی بیان
شوند. تعداد دلخواه FCM های وزن دهی شده با ساختارهای اختیاری را می توان با خلاصه کردن
ماتریسهای رابطه افزوده مربوطه، با هم ترکیب کرد. به هر حال همچنانکه تعداد افراد خبره مشمول در
نمونه افزایش می یابد، قابلیت اعتماد پایگاه دانش نیز افزایش می یابد.

5.2 : مرور ادبیات FCM:

1.5.2: چگونگی پیدایش FCM:

در ابتدا آکسلرود نقشه های شناختی را به عنوان یک روش قراردادی برای بیان دانش علوم
اجتماعی و تصمیم گیری در سیستم های سیاسی و اجتماعی به کار برد [6]. سپس کاسکو نقشه های
شناختی را با در نظر گرفتن مقادیر فازی برای آنها بسط و گسترش داد [22]. یک FCM رفتار یک
سیستم را به وسیله مفاهیم بیان می کند، هر مفهوم بیان کننده یک وضعیت یا یک ویژگی از سیستم

است. یک FCM می‌تواند از بسیاری از مشکلاتی که معمولاً به وسیله سیستم‌های بر اساس قانون مطرح می‌شود جلوگیری کند. بیان دانش کلاسیک در سیستم خبره به وسیله یک درخت تصمیم انجام می‌گرفت که این فرم از بیان دانش مشکلاتی را به وجود می‌آورد مانند امکان ناپذیری اینکه درختهای بزرگ رفتارهای پویا و دینامیک داشته باشند.

FCM ها، روشهای ترکیبی هستند که از لحاظ بعضی مفاهیم بین سیستم‌های فازی و شبکه‌های عصبی قرار دارند. آنها دانش را در یک حالت نمادین، و وضعیت‌های مربوطه، فرایندها، خط‌مشی‌ها، رخدادها و مقادیر را در یک حالت قابل قیاس بیان می‌کنند. بعد از اینکه نقشه تشکیل شد یک FCM در یک حوزه خاص، یک شبیه‌سازی کیفی از سیستم و آزمایش از مدل را می‌پذیرد. در مقایسه با دیگر سیستم‌های خبره و شبکه‌های عصبی ویژگی‌های مطلوبی دارد از جمله اینکه؛ برای بیان دانش ساخت یافته، نسبتاً آسان است و نیز استنتاج از آن می‌تواند به جای قوانین «اگر- آنگاه» در سیستم‌های خبره با عملیات ماتریسی عددی انجام گیرد. [4]

FCM ها برای بیان روشن و ساده دانش و تجربه‌ای که در طول سالها از عملیات یک سیستم پیچیده جمع‌آوری شده است مناسب هستند. FCM ها، در طی سالهای اخیر از لحاظ تحقیقاتی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند و در بسیاری از موضوعات و مسائل از آنها استفاده شده است.

2.5.2: چگونگی مدل بندی با FCM در حالت کلی:

یک FCM، کل سیستم را با یک گراف نشان دهنده مفاهیم و روابط علت و اثر بین آنها بیان می‌دارد. به عبارت دیگر، یک FCM یک گراف جهتدار علامتدار است همراه با بازخوردهایی که جهان را به صورت یک مجموعه از مفاهیم و روابط علی بین آنها مدل‌بندی می‌کند. مفاهیم گوناگون با گره‌هایی در یک گراف جهتدار بیان می‌گردند. یالهای گراف، تاثیرات علی بین این مفاهیم هستند. مقدار یک گره درجه‌ای را که آن مفهوم در آن زمان ویژه در سیستم فعال است را بیان می‌دارد. این

مقدار یک تابع از مجموع همه یالهای وارد شونده به آن مفهوم و مقدار مفهوم در مرحله بلافصل قبلی است.

یک جبر علی فازی، گسترش علی و ترکیب علی در یک FCM را مقرر کرده و بنابراین زنجیرهای به سمت جلو و عقب در یک FCM را مقرر می‌کند. جبر استفاده شده فقط به ترتیب جزئی P^1 ، مجموعه دامنه یال علی فازی e و به ویژگی‌های عمومی گراف-فازی یعنی پیوستگی مسیر بستگی دارد. این جبر می‌تواند در هر طرح بیان دانش گرافی دیگر نیز به کار رود.

آکسلرود در [6] اثرات علی غیر مستقیم و نیز اثرات کل را بیان کرده است. وی بیان داشته که، تعدادی مسیر علی از گره مفهوم C_i به گره مفهوم C_j در نظر بگیرید که می‌تواند به صورت زیر باشد:

اگر $C_i \rightarrow C_{k1} \rightarrow C_{k2} \rightarrow \dots \rightarrow C_{kn} \rightarrow C_j$ پس اثر غیر مستقیم از C_i به C_j علیت C_i است که به C_j با مسیر (i, k_1, \dots, k_n, j) اعمال می‌گردد و اثر کل C_i بر C_j ، از همه اثرات غیر مستقیم که بر C_j وارد می‌شود، تشکیل یافته است. اگر فقط یک مسیر علی از C_i به C_j وجود داشته باشد اثر کل به اثر غیر مستقیم تنزل می‌یابد. عملیات اثر غیر مستقیم و اثر کل مانند ضرب و جمع اعداد حقیقی می‌باشد. یک محاسبات علی از علامتهای + و - استفاده می‌کند تا این تناظرات را استخراج کند: اثر غیر مستقیم یک مسیر از C_i به C_j منفی است اگر تعداد یالهای علی منفی در مسیر، فرد باشد و مثبت است اگر؛ این تعداد زوج باشد. اثر کل C_i بر C_j منفی است اگر همه اثرات غیر مستقیم C_i بر C_j منفی باشد و مثبت است اگر؛ همگی مثبت باشند و در غیر این صورت نامعین است. بنابراین نامعین بودن را می‌توان با یک طرح وزن‌دهی عددی رفع نمود. اگر یالهای علی با اعداد حقیقی مثبت یا منفی وزن‌دهی شوند، پس اثر غیر مستقیم C_i بر C_j در مسیر (i, k_1, \dots, k_n, j) ، از حاصلضرب این اوزان و اثر کل از مجموع این حاصلضرب‌ها در مسیر به دست می‌آید. این طرح

وزن‌دهی محاسبات علامت را عمومیت بخشیده و نامعین بودن را از عملیات اثر کل رفع کرده و تمایز علی بین مفاهیم را می‌پذیرد. اما نیاز به مقادیر حقیقی، اکتساب دانش را مشکل می‌کند. مشکلات با تعداد منابع دانش و با مقدار پاسخهای منابع دانش افزایش می‌یابد. یک جبر علی فازی و بنابراین FCM ها، به ورودی‌های فازی اجازه می‌دهند که مانند ورودی‌هایی که با مقادیر حقیقی مقداردهی شده‌اند، پردازش شوند. یک جبر علی فازی با عملیات انتزاعی، از ضرب و جمعی که در یک مجموعه ترتیبی جزئی از مقادیر علی تعریف شده‌اند، ایجاد شده است.

فرض کنید L یک فضای مفهوم علی باشد (بر مجموعه‌های غیرتهی) و $\mathbf{P} \rightarrow L \times L: e$ یک تابع یال علی فازی باشد. پس عملیات انتزاعی ساده با تفسیر عملگر غیر مستقیم I ، مانند عملگر می نیمم و عملگر اثر کل T ، به عنوان عملگر ماکسیمم، به دست می‌آید.

به صورت قراردادی فرض کنید که، m مسیر علی از C_i به $C_j (i, k'_1, \dots, k'_n, j)$ وجود داشته باشد برای $1 \leq i \leq m$ ، فرض کنید $I_l(C_i, C_j)$ اثر غیر مستقیم C_i بر C_j در مسیر علی l ام باشد. نیز فرض کنید که، اثر کل C_i بر C_j در همه m مسیر علی $T(C_i, C_j)$ باشد. پس

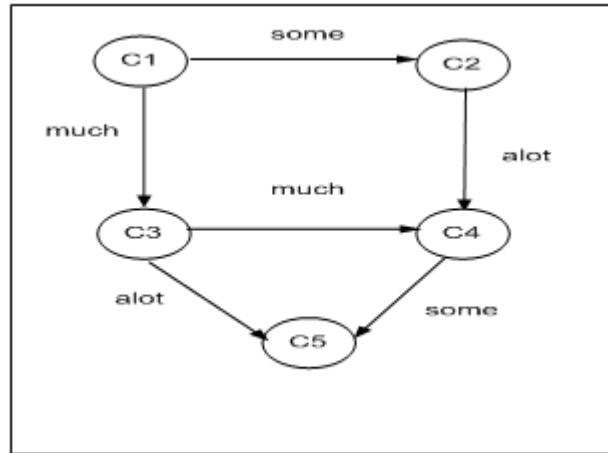
$$I_l(C_i, C_j) = \min \{ e(C_p, C_{p+1}) : (p, p+1) \in (i, k'_1, \dots, k'_n, j) \} \quad (1-2)$$

$$T(C_i, C_j) = \max_{1 \leq l \leq m} I_l(C_i, C_j) \quad (2)$$

که $p, p+1$ اندیسهای مسیرهای متصل از چپ به راست هستند.

بنابراین مقادیر اثر غیرمستقیم برای سادگی، ضعیف‌ترین لینک در یک مسیر و اثر کل به عنوان قوی-ترین از بین اینهاست.

مثال 1-2: فرض کنید که مقادیر علی با $P = \{none \leq some \leq much \leq a lot\}$ داده شده باشند و FCM مانند شکل 1-2 تعریف شود.



شکل 1-2 : FCM مربوط به مثال 1-2

سه مسیر علی از C_1 به C_5 وجود دارد: (C_1, C_2, C_4, C_5) , (C_1, C_3, C_4, C_5) , (C_1, C_3, C_5) : بنابراین سه اثر غیر مستقیم C_1 بر C_5 به این صورت می باشد:

$$I_1(C_1, C_5) = \min\{e_{13}, e_{35}\} = \min\{\text{much}, \text{a lot}\} = \text{much}$$

$$I_2(C_1, C_5) = \min\{e_{12}, e_{24}, e_{45}\} = \text{some}$$

$$I_3(C_1, C_5) = \min\{e_{13}, e_{34}, e_{45}\} = \text{some}$$

در نتیجه اثر کل C_1 بر C_5 عبارت است از:

$$T(C_1, C_5) = \max\{I_1(C_1, C_5), I_2(C_1, C_5), I_3(C_1, C_5)\} = \text{much}$$

به عبارتی، کلا C_1 به اندازه much بر C_5 تاثیر دارد.

FCM ها یا به صورت هندسی یا عددی تحلیل می‌شوند. یک تحلیل هندسی که تنها برای FCM های خیلی کوچک عملی است به سادگی اثرات افزایشی و کاهشی در طی همه مسیرها از یک مفهوم به دیگری را ردیابی می‌کند.

در یک تحلیل عددی، مفاهیم با یک بردار وضعیت و رابطه بین مفاهیم با یک ماتریس رابطه فازی بیان می‌گردند. یک مفهوم با فعال کردن مولفه بردار نظیرش به جریان می‌افتد. سپس به صورت تکراری با ماتریس رابطه ضرب می‌شود.

اگر C_1, C_2, \dots, C_n گره‌های یک FCM باشند و $C = [C_1, C_2, \dots, C_n]$ بردار وضعیت کنونی FCM باشد بردار وضعیت جدید FCM، از ضرب بردار وضعیت فوق در ماتریس مجاورت و استفاده از تابع سرحدگیری یا آستانه‌ای به دست می‌آید. یعنی:

$$[C_1 \ C_2 \ \dots \ C_n]_{\text{new}} = f([C_1 \ C_2 \ \dots \ C_n]_{\text{old}} + [C_1 \ C_2 \ \dots \ C_n]_{\text{old}} \begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} \end{bmatrix}) \quad (3-2)$$

$$\begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} \end{bmatrix} \text{ توجه: همان ماتریس ارتباطات یا مجاورت است.}$$

C_i : i امین مفهوم است.

C_{ij} : رابطه از مفهوم i به مفهوم j است.

f : تابع سرحدگیری یا محدود کننده است.

معمولاً مقادیر بردار وضعیت بین -1 و $+1$ محدود می‌شوند و مفهوم فعال شده، بعد از هر ضرب بردار $+1$ باقی می‌ماند و این فرآیند ضرب زمانی متوقف می‌شود که با یکی از این وضعیتها مواجه شویم:

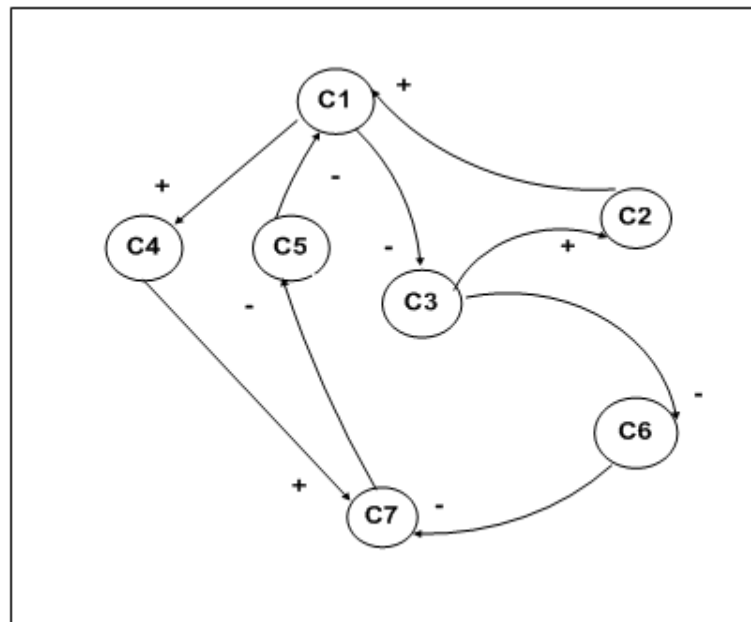
• وقتی که FCM به یک بردار حدی رسیده باشد.

• وقتی که یک دور حدی اتفاق بیفتد..

• وقتی که FCM، یک رفتار نامنظم و بی قاعده از خود نشان دهد.

توابع آستانه‌ای برای این منظور به کار می‌روند که، به ورودیهای نامحدود اجازه ندهند که به یک حوزه معین و محدود وارد شوند که این امکان به دست آوردن نتایج کمی دقیق را از بین می‌برد. مثلاً در حالتی مثل داشتن یک نقشه شناختی دودویی (0 و 1) تابع آستانه‌ای، هر مقدار بیشتر از صفر را به «یک» محدود کرده و هر مقدار دیگر را به «صفر» و با این کار فقط یک اساس برای مقایسه گره‌ها یا مفاهیم که در وضعیت روشن یا خاموش یا به عبارتی فعال یا غیر فعال هستند را فراهم می‌کند.

شکل 2-2: نشان دهنده یک FCM ساده و تحلیل آن است :



شکل 2.2: یک FCM ساده.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & +1 & 0 & 0 & 0 \\ +1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & +1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{ماتریس ارتباطات:}$$

فعال شدن مفهوم A: $[1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$

حاصل اولین عمل ضرب: $[0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0]$

عمل کردن تابع آستانه‌ای: $[1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0]$

حاصل دومین عمل ضرب: $[0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1]$

عمل کردن تابع آستانه‌ای: $[1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1]$

حاصل سومین ضرب: $[1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0]$

عمل کردن تابع آستانه‌ای: $[1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0]$

حاصل چهارمین حاصلضرب: $[1\ 1\ 1\ 1\ -1\ 1\ 0]$

عمل کردن تابع آستانه‌ای: $[1\ 1\ 1\ 1\ -1\ 1\ 0]$

حاصل پنجمین ضرب: $[2\ 1\ 1\ 1\ -1\ 1\ 0]$

عمل کردن تابع آستانه‌ای: $[1\ 1\ 1\ 1\ -1\ 1\ 0]$: بردار حدی

که در اینجا همان طور که پیداست تابع آستانه‌ای به صورت معادله (2-4) در نظر گرفته شده است :

$$f(x) = \begin{cases} -1 & x < 0 \\ +1 & x > 0 \\ 0 & o.w. \end{cases}$$

حلقه‌های بازخورد مثبت و منفی در یک نقشه شناختی نشان می‌دهند که تغییرات در یک مفهوم سرانجام می‌تواند منجر به آرام کردن تغییرات (توسط بازخوردهای منفی) یا تشدید تغییرات (توسط بازخوردهای مثبت) شود. ثبات (همگرایی به یک بردار حدی) یک جنبه مهم از تحلیل است که پیش-بینی می‌کند چگونه تغییرات در یک مفهوم بر سراسر سیستم تاثیر می‌گذارد. [35]

علیت می‌تواند به صورت یک رابطه فازی در فضای ضرب $I^n \times I^n$ بیان شود که، I^n فضای مفهوم از مفاهیم n تایی (مجموعه‌های فازی) C_1, C_2, \dots, C_n است که می‌توان هر مفهوم را به صورت یک مجموعه فازی دید و نه فقط به صورت یک رشته زبانی. درجه‌ای که طی آن C_i علت C_j است نیز توسط تابع $e(C_i, C_j)$ تعیین می‌گردد. فاصله علی فازی، فاصله دو قطبی $[-1, +1]$ است. از آنجایی که علیت منفی نیز مانند علیت مثبت پذیرفته شده است. برای درست عمل کردن نقشه‌ها، جبر ماتریسی (عملیات ضرب و جمع) یک وسیله مناسب به این منظور تهیه کرده است. خصوصاً از آنجایی که عملیات ماتریسی برای پیاده سازی در کامپیوتر راحت‌تر است.

تابع سرحد یا آستانه که برای مجموع‌های وزنی به کار می‌رود، می‌تواند در اصل فازی باشد، به علاوه مقادیر مفهوم که در یک حالت نرمال شده به کار می‌روند، بیان کننده یک درجه از فعالیت هستند تا یک مقدار عددی دقیق. این واقعیت‌های FCM، از بنیاد منطق فازی گرفته شده‌اند. در واقع فرآیند فازی سازی به ما یک مدل کیفی می‌دهد و ما را از تعیین وزن اکید و صریح برای وزن یالها می-رهاند. روابط علی با علامتهای مثبت یا منفی و وزنهای مختلف بیان می‌گردد.

3.5.2: ترکیب در FCM ها

برای تعیین تابع ترکیب فازی \emptyset ، بایستی کرانهای بالایی و پایینی که \emptyset را شامل خواهند شد؛ تعریف کرد. برای دیدن این موضوع، فرض کنید که جستجوی فضای عمل با این فرض آغاز شود که یک سوال، m مجموعه دانش با n منبع دانش تولید کرده است. چگونه بایستی این مجموعه ها را با هم ترکیب کرد؟ یک راه گرفتن اتحاد مجموعه های فازی است. این عمل به وسیله کاسکو [21] به عنوان یک عمل خوشبینانه در ترکیب دانش در نظر گرفته شده است. یک راه بدبینانه و شهودی نیز گرفتن اشتراک مجموعه های فازی است. در این نقطه ساختارهای کافی فرض شده برای تصمیم، وجود ندارد، اما نیاز اولیه که قبلا در مورد تابع \emptyset بیان شده با معرفی این دو عمل برآورده شده است.

$$I \subseteq C \subseteq U \quad (5-2)$$

که این بدین معناست که، مجموعه دانش ترکیبی C شامل اشتراک است و خودش مشمول در اجتماع است [21 و 47]. کران پایینی I تصدیق میشود زیرا دقیقاً شامل مؤلفه های دانش مشترک بین تمام مجموعه های دانش است. کران بالایی نیز تصدیق میشود زیرا هر مؤلفه از مکمل آن U^C از همه مجموعه های دانش، بیرون نگه داشته شده است. فرض کنید m, l مینیمم (اینفی مم) و ماکسیمم (سوپریمم) را از مؤلفه های بردار پاسخهای دانش $X(s)$ نشان دهند.

$$l = \min_i x_i(s) \text{ و } m = \max_i x_i(s) \text{ در بازه } [0,1] \text{ تغییر می کنند.}$$

فرض کراندارای این است که ما می دانیم حداقل l و حداکثر m یعنی :

$$l \leq \emptyset \leq m \quad (6-2)$$

فضای توابع ترکیب دانش ممکن که با (6-2) تعریف می شود، به وضوح، برای تعیین \emptyset بسیار بزرگ است. فایده (6-2) این است که تمرکز توجه بر l و m و احضار کردن آن به عنوان یک معیار آزمایش برای توابع ترکیبی کاندید است. برای مثال در روش توابع چگالی احتمال اشتراک مستقل،

$\prod x_i(s)$ یک کاندیدای خوب برای یک تابع ترکیب دانش نیست زیرا خیلی بدبینانه است و کران بالایی m را نادیده می‌انگارد زیرا همیشه از بالا به 1 محدود شده است و همچنانکه تعداد منابع دانش افزایش می‌یابد به صورت یکنواخت به سمت صفر میل میکند.

اگر جمع پاسخهای دانش در نظر گرفته شود آنگاه معادله (2-6) با میانگین حسابی که به صورت $A = \frac{1}{n} \sum x_i(s)$ تعریف می‌شود، سازگار خواهد بود. از آنجایی که:

$$l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l \leq A \leq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m \quad (7-2)$$

مسئله دیگری که در ترکیب نقشه‌های چندین فرد خبره باید مورد توجه قرار گیرد این است که افراد خبره مختلف از نظر تجربه و قابلیت اعتماد با یکدیگر متفاوت هستند و این عادلانه نیست که افراد خبره با درجات مختلف از دانش و تجربه را مانند هم تلقی کرد. بنابراین می‌توان به هر یک از افراد خبره با توجه به میزان تجربه و دانششان وزنی اختصاص داد که در این صورت منبعی با دانش و تجربه و قابلیت اعتماد بالاتر، وزن بالاتری را دریافت می‌کند.

یک روش معمول، استفاده از شیوه وزن دهی نرمال شده است؛ که در آن بایستی جمع وزنها را اختصاص داده شده به افراد خبره برابر با یک باشد. اگر وزن نرمال شده اختصاص یافته به فرد خبره k ام را با w_k نمایش داده و وزن یال اختصاصی بین دو مفهوم C_i و C_j توسط فرد خبره k ام با E_{ijk} نمایش داده شود، آنگاه معادله حاصل برای ترکیب نقشه‌های مختلف از افراد خبره با وزنها قابلیت اعتماد مختلف به صوت معادله (2-8) خواهد بود. [22]

$$E_{ij}^T = \sum_{k=1}^n w_k E_{ijk} \quad (8-2)$$

4.5.2: مروری بر کارهای انجام شده در FCM

در حالت کلی یک FCM مانند یک شبکه عصبی انجمنی یا شرکت پذیر کار می‌کند. یک FCM، سیستم را در یک شبکه تک لایه‌ای بیان می‌کند که نرونها معنی مفاهیم را تعیین می‌کنند و

وزنهای اتصالات داخلی، روابط بین این مفاهیم را بیان می‌کنند. استفاده از حالت فازی در FCM به این معناست که، مفاهیم می‌توانند به صورت مجموعه‌های فازی، و روابط علی بین مفاهیم نیز می‌توانند به صورت دلالت‌های فازی و احتمالات شرطی و غیره باشند. FCM ها به تدریج به عنوان یک تکنیک شبیه‌سازی و روش مدل‌بندی قدرتمند برای زمینه‌های کاربردی و تحقیقاتی مختلف، قابل اجرا شدند که یک وسیله سودمند برای استدلال علی است و در بسیاری از زمینه‌ها از جمله علوم اجتماعی، نظریه بازی، تحلیل اطلاعات و غیره به کار رفته‌اند. [4]

باولز و پلز [35و36] از FCM ها برای مدل‌بندی FMEA استفاده کرده‌اند. در این مقالات بیان شده که از آنجایی که نقشه‌های شناختی فازی از روابط علت - معلولی استفاده می‌کنند لذا می‌توانند برای بیان روابط علی مورد نیاز در FMEA و تهیه یک استراتژی جدید برای پیش‌بینی اثرات در سیستم‌های پیچیده، به کار روند. عناصر اصلی یک نقشه شناختی فازی برای توضیح شکستهای سیستم، ساده هستند. مفاهیمی که یک فرد خبره برای توضیح وظیفه یک سیستم استفاده می‌کند و شکستهای ممکنه به عنوان گره‌ها در یک نقشه بیان می‌شوند و اتصالات علی بین این مفاهیم، به صورت یالهایی بین این گره‌ها بیان می‌گردند که بیان کننده روابط آنها هستند. پس از معرفی نقشه‌های شناختی و بیان کاربرد آن در FMEA به منظور نشان دادن چگونگی کاربرد، به استفاده از آن در یک سیستم سطح‌بندی تانک آب پرداخته شده است در مدل‌بندی صورت گرفته، به منظور به دست آوردن اثر کلی که از یک مفهوم به دیگری اعمال می‌گردد از روش فازی «میانگین وزنی ماکسیم»، استفاده شده است. سپس از روش دی‌فازی مرکز ثقل استفاده کرده و نتایج را به صورت دی‌فازی شده، بیان کرده‌اند. همچنین بیان شده که، الگوی شکست؛ همه انواع اثرات و علتها، ماموریت و وظیفه یک سیستم همگی می‌توانند به عنوان متغیرهای مفهوم در نظر گرفته شوند و به عنوان گره‌ها در یک نقشه شناختی بیان شوند. برتری واقعی این رویکرد هنگامی که یک نقشه شناختی به صورت ترسیمی مجسم شود نمایان می‌گردد که پس از آن، دیدن اینکه چگونه هریک از مفاهیم (اثرات الگوی شکست) و روابط علی (علتها) به یکدیگر مربوط می‌شوند، نسبتاً ساده خواهد بود و نیز ساختار کلی

همه بیانات علی بیان می‌گردد. به وسیله این مدل، می‌توان بعضی استنتاج‌های قراردادی را انجام داد از قبیل اینکه، آیا طراح یک سیستم عملاً انتخابهایی را که با هدف سیستم (ماموریت آن) و مجموعه همه روابط علی بیان شده آنها سازگار است را انجام داده است یا نه؟ و نیز می‌تواند برای اطلاعاتی که از دلالت شکستهای ویژه نتیجه می‌شود به کار رود.

ستای لس^۱ و گرومپس^۲ [46] از FCM برای مدل‌بندی و کنترل مسائل سیستم‌های وابسته به نظارت و سرپرستی استفاده کردند. یک FCM کل سیستم را در یک حالت نمادین و سمبلیک؛ درست همان‌طور که انسان عملیات یک سیستم را در ذهنش ذخیره می‌کند به تصویر می‌کشد. در این مقاله، پیاده‌سازی یک FCM برای مسئله کنترل فرآیند بیان شده و یک مدل برای ناظران سیستم‌های تولید بیان شده است. کاربرد FCM ها برای مدل‌بندی ناظر، ممکن است که در تدوین سیستم‌های خبره‌تر کمک کند. تدوین یک رویکرد محاسباتی نرم جدید برای مدل‌بندی ناظر سیستم‌های تولید بر اساس FCM، باز هم توسط این دو نویسنده در [45] بحث و بررسی شده و برای مدل‌بندی رفتار سیستم‌های پیچیده به کار رفته است. آنها ضمن توضیح و تفسیر FCM ها، یک رویکرد و متدولوژی جدید برای تدوین FCM ها بیان کرده‌اند. یک مثال از FCM ها نیز برای یک خط ساده، توضیح داده شده است که در آن، یک ساختار دو سطحی سلسله مراتبی برای نظارت سیستم‌های تولید بحث شده و به صورت یک FCM مدل‌بندی شده است. مدل FCM همچنین برای قسمت تشخیص عیب ناظر برای یک فرآیند شیمیایی ساده، تشکیل شده است.

سیریاچ^۳ و همکارانش [43] یک ماشین تصمیم برای یک سیستم تشخیص نفوذ (ورود بدون اجازه و سر زده) را شرح دادند که اطلاعات را از واحدهای تشخیص نفوذ مختلف با استفاده از یک تکنیک استنتاج بر اساس دانش ترکیب می‌کند. وظیفه یک سیستم تشخیص نفوذ، حمایت از یک سیستم کامپیوتری، با تشخیص رخنه‌ها و نقض عهدهای مبادرت شده در کل سیستم است. یک

¹ Stylios

² Groumpos

³ Siriaj

سیستم تشخیص نفوذ قدرتمند برای یک شبکه کامپیوتری، ضرورتاً از چندین حسگر استفاده می‌کند که هر یک انواع مختلفی از اطلاعات درباره جنبه‌های مختلف سیستم تهیه می‌کنند. به علاوه اطلاعات حسگر، اغلب به چندین روش مختلف تحلیل می‌شوند. FCM ها و پایگاه‌های قانون فازی، برای حمایت فرآیندهای استدلال علی به کار می‌روند.

مایو^۱ و لیو^۲ [30] یک فرآیند برای رتبه‌بندی شدت میانگین تولید شده روابط علی FCM ها بیان کرده‌اند که با برآورد کردن توافق عمومی گروه و حمایت از بنا کردن توافق های گروهی در برآورد وزن یالها همراه است.

در [26] کاسکو یک بسط و گسترش از FCM ها پیشنهاد کرده است که در آن هر مفهوم می‌تواند مجموعه مقادیر خودش را داشته باشد بسته به اینکه با چه مقدار از دقت، لازم است که در شبکه توضیح داده شود. مجموعه مقادیر می‌تواند یک مجموعه باینری، یک مجموعه فازی یا یک فاصله پیوسته باشد. به علاوه نگرش اینکه چگونه علتها اثر می‌گیرند با یک سیستم دینامیک مدل‌بندی شده است.

در استفاده از نقشه‌های شناختی فازی، گاهی اوقات با پرسش از چندین فرد خبره در مورد وزنهای علی، اختلاف نظرهایی در نوع علامت یالها وجود دارد. سادیراس^۳ و مارگرایتس^۴ [50] یک درجه توازن جدید برای ارزیابی بهتر تضادهایی که در گراف FCM وجود دارد پیشنهاد کردند. وجود دو رابطه علی با علامتهای مخالف بین دو گره، گراف FCM را نامتوازن می‌سازد. درجه‌ای که طبق آن کل گراف FCM متوازن یا نامتوازن می‌شود با درجه تعادل داده می‌شود. انواع مختلفی از درجه‌های تعادل برای گراف جهتدار با علامت وجود دارد. آنها یک نوع جدید از درجه تعادل پیشنهاد کردند که برای FCM ها مناسب است. درجه جدید با استفاده از جستجوی کامل همه مسیرهایی که

¹ Miao

² Liu

³ Tsadiras

⁴ Margaritis

در گراف ایجاد شده‌اند، تعیین می‌گردد و یک دلالت بر رفتار پویایی که ما بایستی از FCM ها انتظار داشته باشیم دارد.

در مقالاتی که در [3 و 2] توسط آگلر¹ کار شده است هدف توضیح یک FCM بر اساس مدل شبکه‌های تصادفی است و نقشه شناختی فازی تصادفی نامیده شده است. این مدلها بر اساس احتمال فعالیت مفاهیم (گره‌ها) در FCM است. مدلها استنتاج را به جای استنتاج سمبلیک با محاسبات عددی انجام می‌دهند. یالها روابط پویای بین مفاهیم را بیان کرده و رویکردهای علی را توضیح می‌دهند. ارزیابی‌های تجربی نشان می‌دهد که مدلها نتایجی مشابه با دیگر نقشه‌های شناختی فازی و در تعداد تکرارهای کمتری حاصل می‌کند.

آگلر در [1] همچنین یک نقشه شناختی فازی تطابقی بر اساس مدل شبکه عصبی تصادفی² (ARFCM) را توضیح داده است. یک ARFCM یالهای علی فازی را همان‌طور که الگوهای علی تغییر می‌کند و نیز همان‌طور که افراد خبره دانش علی‌شان را بروز می‌کنند، تغییر می‌دهد. وی در این مقالات نشان داده که چگونه ARFCM ها می‌توانند مفاهیم مدلهای متشکل از فرایندهای پویا را آشکار سازند.

کارولهو³ و تام⁴ [14] یک نقشه شناختی فازی بر اساس قانون⁵ (RBFCM) پیشنهاد کردند که، به عنوان یک تکامل از نقشه‌های شناختی فازی پیشنهاد شده و از آنجایی که روابطی غیر از علیت یکتا را ممکن ساخته است، بیان کاملتری از شناخت را می‌پذیرد. ساختار آنها بر اساس سیستم‌های فازی سنتی با بازخوردها است. مدل‌بندی پویایی‌های سیستم‌های دنیای واقعی کیفی، یک امر بالقوه است که شامل لینک‌های بازخوردی است. آنها همچنین راهبردهایی برای معرفی زمان به عنوان یک ورودی کیفی مهم در نقشه‌های شناختی فازی تهیه کرده‌اند. همچنین در مقاله‌ای دیگر [13] که

¹ Aguilar

² Adaptive Random Fuzzy Cognitive Map

³ Carvalho

⁴ Tome

⁵ Rule Based Fuzzy Cognitive Map

توسط این دو فرد کار شده است از آنجایی که زمان، در مطالعه پویایی‌های سیستم، ضروری است؛ آنها یک رویکرد منسجم برای بیان ضمنی زمان در RBFCM ها معرفی کردند.

کارولهو و تام همچنین در مقاله‌ای دیگر که در [12] کار کرده‌اند، برخی موضوعات ثبات را راجع به مدل‌بندی پویایی‌های سیستم‌های دنیای واقعی بیان کرده و نیز توانایی RBFCM ها برای تهیه یک مدل‌بندی مناسب در آنچه مربوط به ویژگی‌های ثبات یک سیستم است را بیان داشته‌اند. همچنین مفهوم ثبات ذاتی، به عنوان یک ویژگی ضروری آلات مدل‌بندی پویایی‌های سیستم‌های کیفی بیان کرده‌اند. همان‌طور که گفته شد؛ ساختار RBFCM بر اساس سیستم‌های فازی سستی با بازخوردها است. هنگامی که سعی در پیاده سازی یک RBFCM می‌شود، مهمترین مسئله خود رابطه علی است. از آنجایی که عملیات فازی سستی نمی‌توانند علیت را همان‌طور که به صورت معمول در نقشه‌های علی تعریف شده‌اند، پیاده‌سازی کنند؛ در این مقاله، یک روش برای پیاده سازی روابط علی فازی بیان شده است. این روش، قابلیت انعطاف بیشتری در حذف و اضافه کردن مفاهیم و لینک‌های بین مفاهیم دارد و یک عملیات فازی جدید معرفی کرده و ویژگی جمع شوندگی روابط علی را تحت عنوان ¹FCA شبیه‌سازی می‌کند.

در مقاله‌ای که توسط محمدیان، و همکارانش کار شده است [59]، به شبیه‌سازی رضایتمندی مشتریان بانک با استفاده از نقشه‌های شناختی فازی پرداخته شده است. در این مقاله، پس از بیان مختصری در خصوص نقشه‌های شناختی فازی به عنوان روش تسهیل کننده تصمیم، به کاربرد آن در صنعت بانکداری به عنوان یکی از بازیگران اساسی حیطه اقتصاد پرداخته شده است. مساله مورد بررسی این مقاله شبیه‌سازی عوامل موثر بر رضایتمندی مشتریان از خدمات بانکی است که در محیط رقابتی و مشتری سالار امروزی نه تنها یک ابزار رقابتی بلکه یک نیاز رقابتی است. وزنهای فازی را برای هر رابطه جهت بیان میزان باور در قوی، متوسط و یا ضعیف بودن تاثیرات متغیرها بر یکدیگر، بر اساس پرسشنامه فازی تعیین نموده‌اند.

¹Fuzzy Carry Accumulation

در مقاله‌ای دیگر که توسط حسامی فرد و صادقی [55] کار شده است از نقشه‌های شناختی فازی در تخمین مخاطرات امنیتی استفاده شده است. در این مقاله، علت استفاده از نقشه شناختی فازی به این صورت بیان شده که برای تشخیص مخاطرات امنیتی یکی از مهمترین نکاتی که به علت دشواری در اکثر موارد از آن چشم پوشی شده است، بررسی ارتباط میان امنیت سرمایه ها می باشد. در این مقاله تلاش شده است که با استفاده از نقشه شناختی فازی ارتباط میان سرمایه های یک سازمان مدل سازی شود. در مدل استفاده شده در این تحقیق، هر کدام از گره های آن تهدید امنیت یکی از سرمایه های سازمان را نشان می دهد. وجود یال از گره i به j نشان می دهد که تهدید سرمایه i ، موجب تغییر در وضعیت امنیت سرمایه j خواهد شد. امنیت هر سرمایه با یک بردار سه تایی به صورت $S=(C,I,A)$ نشان داده شده که به بردار S ، بردار امنیت سرمایه نیز گفته می شود. در این بردار، C نشان دهنده محرمانگی، I نشان دهنده درستی و تمامیت اطلاعات و A نشان دهنده دسترس پذیری سرمایه می باشد. برچسب یالهای نقشه شناختی فازی امنیت، یک ماتریس 3×3 است. اعضای این ماتریس مانند آنچه در نقشه شناختی فازی دیده شد از بازه دوقطبی $[-1,1]$ انتخاب شده اند. این ماتریس نشان خواهد داد که هر کدام از مولفه های امنیت یک سرمایه چه اثری بر دیگر مولفه های امنیت دیگر سرمایه ها خواهد داشت. در این مقاله بیان شده که برای ساخت نقشه شناختی فازی امنیت، ابتدا باید به بررسی بستگی های امنیتی میان سرمایه های سازمان پرداخت و موقعیت هر کدام از سرمایه ها در سازمان را نسبت به دیگر سرمایه ها بررسی کرد.

از آنجایی که تئوری FCM های موجود به مقدار زیادی به دانش افراد خبره بستگی دارد فاکتورهای ذهنی و فردی بیشماری در تعیین وزنهای FCM وارد می شوند که دقت و قابلیت اعتماد نتایج استنتاج شده را محدود می کند، به علاوه در سیستم های علی پیچیده، تعداد زیادی مفهوم وجود دارد و اینکه به صورت واضح وزنهای علیت بین این مفاهیم تعیین شود اگر غیر ممکن نباشد بسیار مشکل خواهد بود. بنابراین تدوین بعضی الگوریتم های یادگیری برای حذف چنین کمبودهایی ضروری می نماید. اخیراً چندین رویکرد یادگیری FCM ها پیشنهاد شده است که این رویکردها می توانند به دو دسته تقسیم شوند:

● دسته اول: این دسته از رویکردها بر اساس شبکه‌های هوش مصنوعی هستند (ANN^1). کاسکو یادگیری Hebbian تفاضلی را پیشنهاد کرده است [23] که یک فرم از یادگیری غیر نظارتی است اما بدون فرمول‌بندی ریاضی و پیاده‌سازی واقعی. الگوریتم دیگری که موجود است الگوریتم یادگیری تصادفی انطباقی نام دارد که توسط اورادا² [5] پیشنهاد شده است. این الگوریتم یادگیری بر اساس شبکه‌های عصبی تصادفی است. اگرچه به نظر می‌رسد که وزنهای محاسبه شده به مقدار زیادی با وزنهای واقعی FCM ها اختلاف دارند. بر اساس نتایج تحقیقات قبلی [28 و 31] یادگیری FCM ها را بر اساس قانون Hebbian غیرخطی بهبود یافته، بیان کردند. این رویکردها نیاز دارند که افراد خبره از قبل، وضعیت ثبات سیستم علی داده شده را تعیین کنند. به عبارت دیگر این الگوریتم‌های یادگیری با این فرض کار می‌کنند که دامنه همگرایی وضعیت‌های مفاهیم قبل از فرآیند یادگیری می‌توانند تعیین شوند. به وضوح این فرض برای سیستم‌های علی پیچیده مانند سیستم‌های جهان مجازی و رفتارهای اجتماعی غیر عملی و غیر واقعی خواهد بود. زیرا علتهای غیر خطی و عدم قطعیت‌های زیاد مشمول در سیستم‌های علی واقعی، پیش بینی وضعیت‌های ثبات این سیستم‌ها را از قبل، غیر ممکن می‌سازد.

● دسته دوم: این دسته از رویکردها بر اساس استراتژی‌های تکاملی (ES^3) [27 و 32] و بهینه‌سازی انبوه اجزا (PSO^4) [33] می‌باشد. برای یادگیری FCM های موجود بر اساس ES, PSO یادگیری FCM, به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی تک هدفه در نظر گرفته می‌شود و در بیشتر موارد برای کمینه سازی انحراف مطلق بین وضعیت‌های مطلوب و محاسبه شده یک سیستم علی داده شده به کار می‌روند. مشابه با یادگیری بر اساس ANN، وضعیت‌های ثبات از پیش تعیین شده برای این رویکردها ضروری است. این منجر می‌شود که یادگیری FCM

¹ Artificial Neural Network

² Aurada

³ Evolution Strategies

⁴ Particle Swarm Optimization

های موجود بر اساس ES و ANN از همان نقصها و ایراداتی که در یادگیری FCM بر اساس ANN وجود داشت، متاثر باشند. به علاوه به علت طبیعت چند شاخصه در بیشتر مسائل دنیای واقعی، تابع تک هدفه نمی تواند به صورت موثری ویژگی های ذاتی و گوناگون سیستم های مورد تحقیق را منعکس کند. مخصوصا ضروری است که بیان شود الگوریتم های یادگیری موجود بر اساس PSO فاقد فرمول بندی ریاضی و رویکردهای وابسته به آن می باشند که برای به کار بردن PSO در یادگیری FCM ضروری می باشند.

لذا به همین دلیل در مقاله ای که توسط سانگ¹ و همکارانش در [44] کار شد، کاربرد PSO چند هدفه برای اولین بار در یادگیری FCM بیان شد. در این مقاله بیان شده که در مقایسه با دیگر الگوریتم های یادگیری FCM، رویکرد جدید نیاز به تعیین وضعیت های ثبات برای سیستم علی قبل از یادگیری FCM ندارد و در واقع کل فرآیند را با همان تعیین وزن های علی یالها برای فرآیند استنتاج انجام می دهد. رویکرد جدید، یادگیری FCM ها را با مکانیسم استنتاج از FCM ها کامل می کند.

مسئله دیگری که در استفاده از FCM ها مهم است؛ نوع تابع سرحد یا آستانه ای است که در واقع نوع FCM را تعیین می کند. در مقاله ای که توسط سادیرس² در [51] کار شده است به مقایسه توانایی های استنتاج در سه نوع از معمولترین FCM های مورد استفاده پرداخته شده است که عبارتند از : FCM های دودویی، سه مقداره و S^3 شکل (حلقوی). فرآیند مقایسه با تحمیل یک سری از سناریوهای مشابه بر هر سه نوع از FCM ها و بررسی پیش بینی هایی که توسط آنها صورت می گیرد، انجام گرفته است. بر اساس این مقایسه، قوانینی که نوع FCM ی را که بایستی در هر مورد و بسته به نوع مسئله استفاده شود؛ بیان شده است.

¹ Song

² Tsadiras

³ Sigmoid

در مقاله دیگری که توسط بیونو^۱ و سالمرون^۲ [11] کار شده است، ارزیابی مقایسه‌ای بین مهمترین توابع هدف در FCM ها صورت گرفته است. در این مقاله چهار نوع تابع یعنی : تابع S شکل، تابع تانژانت هیپربولیک، تابع پله‌ای و تابع خطی آستانه‌ای به عنوان توابعی که در FCM استفاده می‌شود معرفی شده است. در این مقاله بیان شده که استفاده از هر تابع می‌تواند نتایج مخصوصی را ارائه دهد. مهمترین هدف این مقاله، تدوین یک تحلیل مقایسه‌ای بین توابع ذکر شده با استفاده از یک مدل تصمیم یکسان است. نتایج نشان می‌دهد که تابع S شکل برتریهای مهمی بر دیگر توابع دارد.

6.2: جمع بندی :

در این فصل ضمن بیان مختصری راجع به تاریخچه FMEA ، انواع مختلف آن بیان شد و معایب استفاده از FMEA های سنتی و مزایای استفاده از FMEA فازی بیان گردید. نیز بیان شد که FCM ها یکی از تکنیکهای استدلال علی هستند که می‌توان در مدل‌بندی کردن FMEA از آن استفاده کرد، حال پس از بررسی و مروری بر کارهای انجام شده در این رابطه، در فصل بعدی به ارائه یک مدل فازی مناسب در برآورد بحرانیت خطاها پرداخته و سپس مدل‌بندی FMEA با استفاده از FCM ها و به منظور ارزیابی علتهای خطاها، انجام می‌گیرد.

¹ Bueno

² Salmeron