

فصل سوم : روش شناسی

1.3: مقدمه:

در فصل قبل به بررسی ادبیات و پیشینه تحقیق در زمینه‌های FMEA و FCM پرداخته شد. با توجه به مطالب بیان شده، در این فصل هدف، استفاده از یک روش ارزیابی ریسک فازی است تا به وسیله آن خطاها به ترتیب اولویت، رتبه‌بندی شوند و سپس، به منظور بررسی علتهای شکستها به توضیح چگونگی استفاده از نقشه‌های شناختی فازی در مدل‌بندی FMEA پرداخته شده است.

همانطور که در فصل قبل نیز اشاره شد در زمینه FMEA مطالعات زیادی انجام گرفته است اما با توجه به مزایای مدل بیان شده در منبع [52]، مدلی که در اینجا استفاده شده است توسعه یافته روش استفاده شده برای ارزیابی ریسک شکست در منبع فوق است که در آن از یک روش میانگین هندسی وزنی فازی استفاده شده است.

در مدل فوق در ارزیابی ریسک شکستها تنها فاکتورهای O، S و D در نظر گرفته شده‌اند اما با توجه به اینکه در ارزیابی ریسک یک شکست، پارامترهای زیادی دخیل هستند می‌توان به منظور ارزیابی کاملتر ریسک شکستها و برآورد دقیقتری از میزان بحرانی بودن آنها، فاکتورهای دیگری مثل هزینه شکست را به مدل فوق اضافه کرد.

در زمینه کاربرد نقشه‌های شناختی فازی در FMEA، مطالعات کمی انجام گرفته است و تنها مطالعات صورت گرفته در منابع [35 و 36 و 37] آمده که همانطور که در فصل قبل بیان شد، به ارائه یک مدل برای FMEA و به منظور پیدا کردن موثرترین شکستها پرداخته شده است. در مدل فوق در ارزیابی ریسک شکستها به منظور اولویت‌بندی، از یک تکنیک فازی استفاده شده است اما همانطور که قبلاً نیز اشاره شده است یکی از مزایای استفاده از FCM ها استفاده از بیان ماتریسی است که برای محاسبات و پیاده‌سازی در کامپیوتر نیز راحت‌تر است. در اینجا هدف استفاده از نقشه‌های شناختی فازی به منظور ارزیابی علتهای یک شکست رخ داده می‌باشد. لذا سعی خواهد شد که ضمن توضیح

چگونگی مدل‌بندی FMEA با FCM ها، مراحل مدل‌بندی به صورت کامل ذکر شود و نهایتاً استنتاج و ارزیابی علتهای یک شکست با استفاده از بیان ماتریسی صورت می‌گیرد.

لذا در ادامه این فصل ضمن ذکر خصوصیات مدل پایه در ارزیابی ریسک شکستها، با اضافه کردن فاکتور جدید، نحوه مدل‌بندی توضیح داده می‌شود. پس از آن مراحل مدل‌بندی FMEA با استفاده از FCM ها، توضیح داده خواهد شد.

2.3: مدل تحقیق در ارزیابی ریسک شکستها:

1.2.3: خصوصیات مدل پایه :

مدل ارائه شده در منبع [52] به فاکتورهای ریسک و وزنهای اهمیت نسبی‌شان اجازه می‌دهد که در یک حالت زبانی ارزیابی شوند. RPN فازی، به منظور اختصار به عنوان میانگین هندسی وزنی فازی فاکتورهای ریسک تعریف می‌شود و می‌تواند دقیقاً با استفاده از مجموعه‌های سطح α و اصول گسترش فازی به دست آید. مجموعه‌های سطح α ی FRPN ها به آسانی با حل یک سری مدل‌های برنامه ریزی خطی به دست می‌آیند. از جمله مزایای مدل فوق می‌توان به این مطالب اشاره کرد :

- ✓ اهمیت نسبی بین فاکتورهای ریسک O، S و D در فرآیند اولویت‌بندی شکستها در نظر گرفته شده‌اند که FMEA فازی پیشنهادی را واقع بینانه‌تر، عملی‌تر و قابل انعطاف‌تر می‌کند.
- ✓ برای هریک از افراد خبره با توجه به میزان تجربه و قابلیت اعتماد آنها وزنهایی در نظر گرفته شده است.
- ✓ فاکتورهای ریسک و وزنهای اهمیت نسبی‌شان در یک حالت زبانی ارزیابی شده‌اند تا با مقادیر عددی دقیق، که این باعث می‌شود که کار ارزیابی راحت‌تر انجام گیرد.
- ✓ ترکیبات مختلف O، S و D اعداد اولویت ریسک مختلفی تولید می‌کنند مگر اینکه وزنهای نسبی بین O، S و D دقیقاً مشابه باشند؛ که این FMEA فازی پیشنهادی را قادر می‌سازد که ریسک‌ها را کاملاً اولویت‌بندی کند و آنها را از یکدیگر تشخیص دهد.

✓ احتیاجی نیست که یک پایگاه قانون فازی «اگر - آنگاه» فازی ساخته شود که بسیار ذهنی، وقتگیر و پرهزینه است.

در مدل پایه در ارزیابی ریسک شکستها همانطور که ذکر شده تنها از سه فاکتور معمول در محاسبه RPN ها استفاده شده است، در اینجا به منظور ارزیابی دقیقتر RPN ها، فاکتور هزینه شکست نیز در نظر گرفته شده است که به جرات می توان گفت که اهمیت بسزایی در تصمیم گیریهای سازندگان و طراحان دارد.

2.2.3: فرضیات مدل:

فرض کنید که n شکست وجود دارند که بایستی توسط یک تیم FMEA شامل m عضو حرفه-ای، اولویت بندی شوند. هریک از این افراد بنا به تجربه و قابلیت اعتمادی که دارند یک وزن اهمیت نسبی دریافت می کنند که در اینجا این وزن به صورت یک عدد در فاصله $[0,1]$ انتخاب شده است و

$$\sum_{j=1}^m h_j = 1$$

همچنین هر یک از این افراد به فاکتورهای ریسک در حالت کلی یک وزن اهمیت نسبی اختصاص داده و نیز در هر شکست برای فاکتورهای ریسک مربوطه وزنی را اختصاص می دهند که بنابر فرض این وزنهای اختصاص یافته با عبارات زبانی و همگی به صورت اعداد مثلثی فازی بیان گردیده اند.

3.2.3: اندیسها:

$i = 1, 2, \dots, n$: اندیس مربوط به شکستها

$j = 1, 2, \dots, m$: اندیس مربوط به افراد خبره

L : اندیس مربوط به پای چپ یا کران پایین عدد مثلثی فازی

M : اندیس مربوط به مرکز عدد مثلثی فازی

U : اندیس مربوط به پای راست یا کران بالای عدد مثلثی فازی

4.2.3: پارامترها:

$\widetilde{R}_{ij}^S = (R_{ijL}^S, R_{ijM}^S, R_{ijU}^S)$: عدد فازی شدت اثر شکست i ام از نظر فرد خبره j ام

$\widetilde{R}_{ij}^O = (R_{ijL}^O, R_{ijM}^O, R_{ijU}^O)$: عدد فازی وقوع شکست i ام از نظر فرد خبره j ام

$\widetilde{R}_{ij}^D = (R_{ijL}^D, R_{ijM}^D, R_{ijU}^D)$: عدد فازی قابلیت تشخیص شکست i ام از نظر فرد خبره j ام

$\widetilde{R}_{ij}^C = (R_{ijL}^C, R_{ijM}^C, R_{ijU}^C)$: عدد فازی هزینه شکست i ام از نظر فرد خبره j ام

$\widetilde{W}_j^S = (W_{jL}^S, W_{jM}^S, W_{jU}^S)$: عدد فازی وزن شدت اثر شکست از نظر فرد خبره j ام

$\widetilde{W}_j^O = (W_{jL}^O, W_{jM}^O, W_{jU}^O)$: عدد فازی وزن وقوع شکست از نظر فرد خبره j ام

$\widetilde{W}_j^D = (W_{jL}^D, W_{jM}^D, W_{jU}^D)$: عدد فازی وزن قابلیت تشخیص شکست از نظر فرد خبره j ام

$\widetilde{W}_j^C = (W_{jL}^C, W_{jM}^C, W_{jU}^C)$: عدد فازی وزن هزینه شکست از نظر فرد خبره j ام

$[(R_i^D)_\alpha^L, (R_i^D)_\alpha^U]$: مجموعه سطح α برای قابلیت تشخیص شکست i ام.

$[(R_i^S)_\alpha^L, (R_i^S)_\alpha^U]$: مجموعه سطح α برای شدت اثر شکست i ام.

$[(R_i^O)_\alpha^L, (R_i^O)_\alpha^U]$: مجموعه سطح α برای وقوع شکست i ام.

$[(R_i^C)_\alpha^L, (R_i^C)_\alpha^U]$: مجموعه سطح α برای هزینه شکست i ام.

h_j : وزن اهمیت نسبی j امین فرد خبره

تحت این فروض شکست n ام می تواند طبق مراحل زیر اولویت بندی شود :

مرحله اول :

یکپارچه سازی نظرات افراد تیم FMEA با معادلات (1-3) تا (8-3) و به صورت زیر برای $i=1,2,\dots,n$ تعیین می گردند :

$$\widetilde{R}_i^O = \sum_{j=1}^m h_j \quad \widetilde{R}_{ij}^O = (\sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^O, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^O, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^O) \quad (1-3)$$

$$\widetilde{R}_i^S = \sum_{j=1}^m h_j \quad \widetilde{R}_{ij}^S = (\sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^S, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^S, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^S) \quad (2-3)$$

$$\widetilde{R}_i^D = \sum_{j=1}^m h_j \quad \widetilde{R}_{ij}^D = (\sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^D, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^D, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^D) \quad (3-3)$$

$$\widetilde{R}_i^C = \sum_{j=1}^m h_j \quad \widetilde{R}_{ij}^C = (\sum_{j=1}^m h_j R_{ijL}^C, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijM}^C, \sum_{j=1}^m h_j R_{ijU}^C) \quad (4-3)$$

$$\widetilde{W}^D = (\sum_{j=1}^m h_j W_{jL}^D, \sum_{j=1}^m h_j W_{jM}^D, \sum_{j=1}^m h_j W_{jU}^D) \quad (5-3)$$

$$\widetilde{W}^S = (\sum_{j=1}^m h_j W_{jL}^S, \sum_{j=1}^m h_j W_{jM}^S, \sum_{j=1}^m h_j W_{jU}^S) \quad (6-3)$$

$$\widetilde{W}^O = (\sum_{j=1}^m h_j W_{jL}^O, \sum_{j=1}^m h_j W_{jM}^O, \sum_{j=1}^m h_j W_{jU}^O) \quad (7-3)$$

$$\widetilde{W}^C = (\sum_{j=1}^m h_j W_{jL}^C, \sum_{j=1}^m h_j W_{jM}^C, \sum_{j=1}^m h_j W_{jU}^C) \quad (8-3)$$

مرحله دوم :

اعداد اولویت ریسک فازی برای هر شکست مطابق قاعده ذیل برای $i=1,2,\dots,n$ تعیین می شود:

(9-3)

$$FRPN_i = \widetilde{R}_i^O \frac{\widetilde{w}^O}{\widetilde{w}^O + \widetilde{w}^S + \widetilde{w}^C + \widetilde{w}^D} \times \widetilde{R}_i^S \frac{\widetilde{w}^S}{\widetilde{w}^O + \widetilde{w}^S + \widetilde{w}^C + \widetilde{w}^D} \times \widetilde{R}_i^D \frac{\widetilde{w}^D}{\widetilde{w}^O + \widetilde{w}^S + \widetilde{w}^C + \widetilde{w}^D} \times \widetilde{R}_i^C \frac{\widetilde{w}^C}{\widetilde{w}^O + \widetilde{w}^S + \widetilde{w}^C + \widetilde{w}^D}$$

که با رویکرد FMEA سستی که RPN ها را به عنوان نتایج حاصلضرب ساده شده O، S و D و بدون در نظر گرفتن وزنهای اهمیت نسبی شان تعریف می کند، متفاوت است.

FRPN ها به عنوان میانگین هندسی وزنی فازی چهار فاکتور ریسک تعریف می شوند که این بر این نقص که با فاکتورهای ریسک به صورت یکسانی عمل می شد غلبه می کند و از آنجا که FRPN ها اعداد فازی مثلثی هستند می توان آنها را با مجموعه های سطح α محاسبه کرد.

فرض کنید که $(FRPN_i)_\alpha = [(FRPN_i)_\alpha^L, (FRPN_i)_\alpha^U]$ مجموعه سطح α ی. $FRPN_i$ باشد پس می تواند با مدل های ریاضی که در ادامه خواهد آمد حل شود. تابع هدف عبارت است از:

(10-3)

$$(FRPN_i)_\alpha^L = \min \left[\widetilde{R}_i^O \frac{\widetilde{w}^O}{\widetilde{w}^O + \widetilde{w}^S + \widetilde{w}^C + \widetilde{w}^D} \times \widetilde{R}_i^S \frac{\widetilde{w}^S}{\widetilde{w}^O + \widetilde{w}^S + \widetilde{w}^C + \widetilde{w}^D} \times \widetilde{R}_i^D \frac{\widetilde{w}^D}{\widetilde{w}^O + \widetilde{w}^S + \widetilde{w}^C + \widetilde{w}^D} \times \widetilde{R}_i^C \frac{\widetilde{w}^C}{\widetilde{w}^O + \widetilde{w}^S + \widetilde{w}^C + \widetilde{w}^D} \right]$$

که قیود در آن به این صورت تعریف شده است:

$$(R_i^O)_\alpha^L \leq R_i^O \leq (R_i^O)_\alpha^U \quad (11-3)$$

$$(R_i^S)_\alpha^L \leq R_i^S \leq (R_i^S)_\alpha^U \quad (12-3)$$

$$(R_i^D)_\alpha^L \leq R_i^D \leq (R_i^D)_\alpha^U \quad (13-3)$$

$$(R_i^C)_\alpha^L \leq R_i^C \leq (R_i^C)_\alpha^U \quad (14-3)$$

$$(W^O)_\alpha^L \leq W^O \leq (W^O)_\alpha^U \quad (15-3)$$

$$(W^S)_\alpha^L \leq W^S \leq (W^S)_\alpha^U \quad (16-3)$$

$$(W^D)_\alpha^L \leq W^D \leq (W^D)_\alpha^U \quad (17-3)$$

$$(W^C)_\alpha^L \leq W^C \leq (W^C)_\alpha^U \quad (18-3)$$

و برای $(FRPN_i)_\alpha^U$ نیز به طور مشابه مدل با همان قیود (3-11) تا (3-18) و با تابع هدف

(3-19) تعریف می شود :

(3-19)

$$(FRPN_i)_\alpha^U = \max R_i^O \frac{\widetilde{w^O}}{\widetilde{w^O} + \widetilde{w^S} + \widetilde{w^C} + \widetilde{w^D}} \times R_i^S \frac{\widetilde{w^S}}{\widetilde{w^O} + \widetilde{w^S} + \widetilde{w^C} + \widetilde{w^D}} \times R_i^D \frac{\widetilde{w^D}}{\widetilde{w^O} + \widetilde{w^S} + \widetilde{w^C} + \widetilde{w^D}} \times R_i^C \frac{\widetilde{w^C}}{\widetilde{w^O} + \widetilde{w^S} + \widetilde{w^C} + \widetilde{w^D}}$$

از آنجا که تابع تعریف شده در (3-10) یک تابع افزایشی یا صعودی است و نیز از آنجا که کار با توان، مشکل است لذا می توان از لگاریتم طبیعی استفاده کرد و لذا نتایج زیر حاصل خواهند شد.

مرحله سوم :

در این مرحله بایستی مجموعه های سطح α ی FRPN های هر یک از شکستها را به وسیله جواب مدل های LP^1 زیر محاسبه کرد. که در آن Z از تقسیم یک بر مجموع اوزان فاکتورها به دست می آید و بنابراین u_i حاصل ضرب Z در وزن هر فاکتور ریسک می باشد. (مقدار Z بزرگتر یا مساوی با صفر است).

¹ Linear Programming

توابع هدف :

$$(20-3)$$

$$\text{Min } z_1 = u_1 \text{Ln} (R_i^O)_\alpha^L + u_2 \text{Ln} (R_i^S)_\alpha^L + u_3 \text{Ln} (R_i^D)_\alpha^L + u_4 \text{Ln} (R_i^C)_\alpha^L$$

$$(21-3)$$

$$\text{Max } z_2 = u_1 \text{Ln} (R_i^O)_\alpha^U + u_2 \text{Ln} (R_i^S)_\alpha^U + u_3 \text{Ln} (R_i^D)_\alpha^U + u_4 \text{Ln} (R_i^C)_\alpha^U$$

قیود در هر دو تابع هدف (10-3) و (11-3) یکسان و با معادلات (22-3) تا (25-3) تعریف

می شوند:

$$u_1 + u_2 + u_3 + u_4 = 1 \quad (22-3)$$

$$(W^O)_\alpha^L.z \leq u_1 \leq (W^O)_\alpha^U.z \quad (23-3)$$

$$(W^D)_\alpha^L.z \leq u_2 \leq (W^D)_\alpha^U.z \quad (24-3)$$

$$(W^S)_\alpha^L.z \leq u_3 \leq (W^S)_\alpha^U.z \quad (25-3)$$

$$(W^C)_\alpha^L.z \leq u_4 \leq (W^C)_\alpha^U.z \quad (26-3)$$

که در آن :

$$[\text{Ln}(R_i^O)_\alpha^L, \text{Ln}(R_i^O)_\alpha^U] \text{ و } [\text{Ln}(R_i^D)_\alpha^L, \text{Ln}(R_i^D)_\alpha^U] \text{ و } [\text{Ln}(R_i^S)_\alpha^L, \text{Ln}(R_i^S)_\alpha^U]$$

$$[\text{Ln}(R_i^C)_\alpha^L, \text{Ln}(R_i^C)_\alpha^U] \text{ همان لگاریتم های طبیعی از مجموعه های سطح } \alpha \text{ برای } O, S, D, \text{ و } C$$

هستند.

مرحله چهارم:

این مرحله شامل دی فازی کردن FRPN ها می باشد.

مرحله پنجم :

در این مرحله به اولویت‌بندی حالت‌های شکست با استفاده از مقادیر دی‌فازی حاصل از مرحله قبل پرداخته می‌شود.

3.3 : مدل بندی FMEA با استفاده از FCM ها :

1.3.3: خصوصیات مدل پایه

در مدل فوق به جای استفاده از جبر ماتریسی که مهمترین حسن استفاده از FCM ها است به ارائه مدلی پرداخته شده است که در آن برای هر یال، یک وزن فازی و یک عدد مربوط به مقدار اطمینان فرد خبره از رابطه موجود منظور شده است، آنگاه با استفاده از یک تکنیک دی‌فازی، مقادیر استنتاج شده برای اولویت‌بندی خطاها نتیجه شده است.

آنچه در اینجا لازم است که به آن توجه شود این است که یکی از اهداف اصلی استفاده از FCM ها بیان ماتریسی و سادگی محاسبات در جبر ماتریسی است. زیرا با فرض داشتن یک FCM با تعداد کمی مفهوم، ممکن است که استفاده از این تکنیک دی‌فازی راحت باشد اما در مسائلی با تعداد مفاهیم و یالهای علیت زیاد، مطمئناً روش فوق خیلی کارا نیست. بنابراین در تحقیق حاضر سعی خواهد شد که ضمن پیدا کردن تابع آستانه‌ای مناسب؛ به بیان ماتریسی FCM ها در مدل‌بندی FMEA پرداخته شود. نیز با توجه به اینکه یکی دیگر از مزایای استفاده از FCM ها این است که به راحتی می‌توان نظرات چندین فرد خبره با درجه‌های مختلف از تجربه و میزان اعتبار را با هم ترکیب کرد، ترکیب FCM ها نیز انجام خواهد گرفت.

2.3.3 : گامهای مدل‌بندی FMEA با FCM ها :

1) انتخاب متغیرهای مفاهیم

2) انتخاب یالها و روابط بین آنها

3) انتخاب علامتها و وزنها و توضیح روابط

1.2.3.3: گام اول : انتخاب متغیرهای مفاهیم

تعریف متغیرهای مفاهیم، می‌تواند به صورت یک مسئله دو مرحله‌ای تصور شود. ابتدا بایستی تعداد متغیرهای بالقوه را تا حد امکان تشخیص داد. سپس بایستی سعی کرد که لیست متغیرها را تا حد امکان با محدود کردن محدوده مسئله، به یک اندازه معقول تحدید کرد. مسئله تشخیص متغیرهای مفاهیم، بایستی به سیستم تحت تحلیل محدود شود. بنابراین برای فرآیند اکتساب دانش، بایستی از افراد خبره درباره مجموعه متغیرهایی که ممکن است به تحلیل FMEA سیستم مربوط شوند سوال شود. (محدودیت‌ها، اثرات، علتهای، زیرسیستم‌های متاثر و غیره). این دانش همچنین می‌تواند از مصاحبه‌هایی استخراج شود که طی آن از افراد خبره خواسته می‌شود که رفتار سیستم را توضیح دهند. مهندسین دانش، از این مصاحبه‌ها مفاهیم مربوطه و روابطشان را استخراج می‌کنند.

برای انتخاب متغیرهایی به عنوان گره‌ها برای یک FMEA، یکی از بهترین رویکردها این است که ابتدا، یک لیست اولیه از متغیرها تهیه شده سپس آن را به یک اندازه معقول از متغیرهای مربوطه کاهش داد. نقشه‌های شناختی فازی نهایی، بایستی توسط افراد خبره تدوین گردند. به عبارتی، پس از اینکه یک لیست اولیه از متغیرها تعیین شد، با به کار بردن یکی از این چند روش می‌توان به مقدار زیادی آن لیست را محدود کرد.

▪ به دست آوردن نرخ اهمیت نسبی بین متغیرها در لیست اولیه و انتخاب مهمترین آنها

▪ استفاده از یک رویکرد خوشه‌بندی

▪ انتخاب فقط آن متغیرهایی از لیست اولیه که نرخهای اهمیت نسبی بالاتر دارند.

البته در صورتی که هدف از تحلیل در نظر گرفتن تمامی مفاهیم در نظر گرفته شده توسط افراد خبره باشد بایستی پس از تعریف مفاهیم مورد نظر تمام افراد خبره، همه آنها با هم مجتمع شوند.

مناسب‌ترین متغیرها در مدل‌بندی FMEA عبارتند از:

- الگوهای شکست
- علتهای شکست
- اثرات شکست
- شدت اثرات
- احتمال وقوع
- قابلیت تشخیص

2.2.3.3: گام دوم: انتخاب یالها و روابط بین آنها

یک راه ساده برای مسئله انتخاب یالها و علامتها، مجتمع کردن آنها با هم و استفاده از قضاوتها و داوری‌های افراد خبره است. متغیرهای منتخب به صورت جفتهای مرتب (X, Y) ، ارائه می‌شوند و برای هر یک از چنین جفتهایی هریک از افراد خبره قضاوت می‌کنند که آیا X یک اثر مهم بر Y دارد یا نه؟

3.2.3.3: گام سوم: انتخاب علامتها و وزنها و توضیح روابط

بعد از انتخاب یالها، علامتها و وزنهاى آنها بایستی تعیین گردد. یعنی اگر بین دو مفهوم یا متغیر یالی فرض شده است باید دید که تغییر در X در Y به چه صورت نمایان می‌گردد به عبارت دقیقتر، بعد از انتخاب یالها، علامتها و وزنهاى آنها بایستی تعیین گردد. یعنی اگر بین دو مفهوم

یا متغیر یالی فرض شده است حال باید دید که تغییر در X در Y به چه صورت نمایان می‌گردد به عبارت دقیقتر اینکه، این تغییر در X در Y ، به صورت مثبت یا منفی نمایان می‌شود؟ نیز وزن این رابطه چیست؟

افراد خبره اغلب تمایل دارند که قضاوت‌های سه مقداری داشته باشند که نسبت به ارزیابی‌های وزنی تعبیر آن راحت‌تر و دقیق‌تر انجام می‌گیرد. از طریق اسناد موجود یا ارزیابی دانش از مصاحبه‌ها، علامت یالها نسبت به اهمیت و اندازه آنها، به صورت قابل اعتمادتری تعیین می‌گردند که در ارزیابی سه مقداری $(+1)$ یک اثر افزایشی و (-1) یک اثر کاهشی و (0) بدون اثر بودن را برای هر یک از جفتهای مرتب (x,y) با $x \neq y$ بیان می‌کند اما می‌توان برای بیان قوت رابطه، هریک از یالهای متصل کننده یا روابط بین گره‌ها را به صورت زبانی وزن‌دهی کرد.

بعد از تشخیص متغیرهای مربوطه و تعیین روابط علی آنها و نیز قوت روابطشان، می‌توان گراف وزنی را تشکیل داد. همانطور که گفته شد FCM های ساده، مقادیر یالهایشان در مجموعه $\{-1,0,+1\}$ قرار دارد. پس اگر علیت اتفاق بیفتد به صورت مثبت یا منفی و از درجه حداکثر است. FCM یک تخمین سریع از دانش علی بیان شده توسط افراد خبره، تعیین می‌کند اما در حالت عمومی، علیت در تحلیل شکست و اثرات آن، به صورت فازی می‌باشد که به صورت عباراتی مانند : «به ندرت»، «گاهی»، «تقریباً همیشه» و «همیشه» و یا «کم»، «متوسط» و «زیاد» بیان می‌شوند. بنابراین بهتر است که فرد خبره رابطه علی بین مفاهیم را با عبارات زبانی طبقه‌بندی کرده و میزان اعتقادش به وجود آن رابطه علی را با عبارات زبانی فوق بیان نماید. افراد خبره می‌توانند سریعاً رسم هایشان را بکشند یا به سوالات پاسخ دهند. مهندسان دانش همچنین می‌توانند نتایج مصاحبه‌ها یا اسناد منتشره را در قالب یک FCM نقل کنند. افراد خبره می‌توانند بر ساختارهای علی یا تعادل سراسری، توافق نظر داشته یا با هم اختلاف نظر داشته باشند.

3.3.3 : تحلیل FCM :

همانطور که در فصل دوم بیان شد بعد از اینکه نقشه شناختی فازی یا گراف جهتدار تشکیل شد دو نوع متدولوژی برای تحلیل وجود دارد: محاسباتی و هندسی. روش محاسباتی گرایش به عددی و دقیق بودن دارد. این روش محاسباتی تمایل دارد که به صورت نسبی به تغییرات یا تبدیلات پارامترهای اساسی تشکیل دهنده نقشه حساس باشد. روشهای هندسی تمایل دارند که غیر عددی باشند و می‌توانند متغیرهایی را که قابل سنجش نیستند به حساب آورند. هدف آنها یک تحلیل در ساختار و شکل FCM ها است و یک نتیجه هندسی نوعی آن است که، بعضی متغیرها به صورت نمایی رشد خواهند کرد یا بعضی متغیرهای دیگر به مقدار زیادی در مقدار نوسان دارند و بنابراین پایا نخواهند بود. بسیاری از متغیرها از قبیل اثرات محیطی یا اثراتی که در طول زمان تغییر می‌کنند به آسانی مقداردهی نمی‌شوند و استفاده از متدولوژی حسابی برای مطالعه این چنین مسائلی، با وجود اینکه مفید و مهم هستند ضرورتاً این فاکتورها را از قلم خواهند انداخت. متدولوژی حسابی بایستی برای روبرو شدن با بسیاری از جنبه‌های تصمیم‌گیریهای مهم در FMEA تدوین شود ضمن اینکه متدولوژی‌های هندسی نیز بایستی همراه با متدولوژی‌های حسابی به کار روند.

4.3.3: کاربردها و استفاده‌های ممکن FCM:

بعد از اینکه گراف جهتدار FMEA تشکیل شد می‌توان از آن استفاده‌های متعددی کرد. می‌توان در تشخیص استراتژی‌هایی برای پیش‌بینی علتهای و اثرات شکست از آن استفاده کرد، همچنین در تعریف یک استراتژی برای نشان دادن اینکه هر تغییر در طراحی سیستم، چگونه سبب تغییر الگوهای شکست سیستم مربوطه شده و در نتیجه اثرات آن چگونه نمایان می‌شود، به کار می‌رود.

مثالی از یک تغییر، ممکن است که تغییر علامت یکی از یالها باشد. این فرضیات می‌توانند برای تعریف فرآیندی که پالس نام دارد به کار روند. در یک فرآیند پالس یا مقدار یک مفهوم تنها «یک» قرار داده می‌شود یا یک ورودی پیوسته وجود دارد که در آن چندین مفهوم مقدار «یک» دارند. که این حالت را معمولاً برای موقعی انتخاب می‌کنند که تابع آستانه‌ای به صورت یک تابع سه مقداری یا دو

مقداری در نظر گرفته شده است که در آن مقادیر مفاهیم، نهایتاً به صورت اعداد صحیح $\{-1, 0, +1\}$ نتیجه خواهند شد. در حالتی که تابع آستانه‌ای، تابعی مثل تابع S - شکل یا تانژانت هیپربولیک باشد می‌توان فرآیند پالس را با دادن مقادیری در بازه $[-1, 1]$ نیز منظور نمود که در این صورت می‌توان درجه‌هایی از فعال بودن را داشت نه اینکه لزوماً فقط دو وضعیت فعال و غیر فعال بودن وجود داشته باشد و خروجی در این حالتها می‌تواند اعدادی غیر صحیح و در بازه $[-1, 1]$ باشد. فرض کنید مقادیر مانند یک فرآیند پالس تغییر کنند، پس می‌توان اثر علت‌های شکست جدید یا وقایع بیرونی را بر سیستمی که تحلیل می‌شود در نظر گرفت. این تغییرات می‌تواند به عنوان تغییرات در مقدار یا سطح متغیرهای معین تصور شود و می‌توان اثرات نتیجه شده بر سیستم را خصوصاً در روندهای بلند مدت و در مقادیر دیگر متغیرها پیش‌بینی یا ردیابی کرد. از آنجایی که، یک نقشه شناختی فازی یک مدل ساده شده از سیستم است نتایج حاصله از تحلیل ممکن است که دقیقاً درست نباشد که این به علت ساده سازی‌هایی است که برای مدل مسئله استفاده شده است.

5.3.3: ساده سازی‌های اعمال شده در مدل بندی به وسیله FCM:

بعضی از ساده سازی‌هایی که در مدل استفاده می‌شود عبارتند از:

- علامت اثرات ممکن است که بسته به سطوح متغیرهای دیگر در طول زمان تغییر کنند. برای مثال ممکن است که اثر یک مفهوم بر دیگری به صورت علت مثبت باشد اما با تغییر سطوح متغیرهای دیگر و تجاوز از یک حد معین این اثر به صورت بدون اثر بودن یا حتی علت منفی تغییر یابد. مثلاً یک تانک آب را در نظر بگیرید که با یک شیر، داخل تانک آب ریخته می‌شود بدیهی است که هرچه شیر بیشتر باز باشد مقدار آب داخل تانک نیز بیشتر خواهد شد اما مطمئناً تانک ظرفیت معینی دارد و بعد از تجاوز از آن ظرفیت معین، آب سرریز خواهد شد بنابراین بعد از آن، باز بودن شیر بر افزایش سطح آب تانک تاثیری نخواهد داشت.

- بعضی از اثرات ممکن است که نسبت به دیگر اثرات، زمان طولانی‌تری برای تشخیص نیاز داشته باشند. (یعنی: تاخیر زمانی وجود داشته باشد)

متأسفانه در واقع، در برخورد با سیستم‌های پیچیده از قبیل بسیاری از طراحی‌های سیستم‌های واقعی، به دست آوردن اطلاعات دقیق راجع به قوت اثرات، تاخیرهای زمانی و غیره، غیر ممکن است. بنابراین بایستی ضمن استفاده از مدل ساده شده به این مطلب توجه داشت که نتایج حاصله از این مدل بایستی برای تحقیق و آزمایش بیشتر تحت کنترل قرار گیرند.

6.3.3: اکتساب و بیان دانش از افراد خبره در FCM ها:

از آنجایی که افراد خبره معمولاً اعتبارنامه‌ها و تجربه‌های مختلفی دارند، دلیلی وجود ندارد که افراد خبره مختلف در یک زمینه را مانند هم فرض کرد. می‌توان یک مقیاس را فرض کرد که مستقیماً تجربه را به قابلیت اعتماد افراد خبره برگرداند اما این کار نیز هنگامی که همبستگی کمی بین تجربه و کیفیت نقشه‌ها وجود داشته باشد، ممکن است که خیلی مفید نباشد. در حالت کلی بعضی منابع دانش از دیگران قابل اعتمادتر هستند. اگر فرض شود که همه منابع دانش قابلیت اعتماد یکسان دارند (به میزان حداکثر)، مشکلاتی به وجود خواهد آمد. در عمل نیاز داریم که پاسخ‌های دانش با قابلیت اعتماد کمتر، نسبت به منابع دانش قابل اعتمادتر سهم کمتری داشته باشند.

اما یک مسئله مختل‌کننده در اکتساب دانش از افراد خبره، ارزیابی کیفیت دانش کسب شده از آنهاست. کیفیت دانش گاهی اوقات با کیفیت منبع، یعنی فرد خبره اشتباه گرفته می‌شود. کیفیت اکتسابی ضرورتاً متناسب با کیفیت افراد خبره نیست. برای مثال ما ممکن است افرادی را تجربه کنیم که انگیزه کمی برای ارائه اطلاعات و دانش شان دارند (برای کشیدن یک نقشه). یا اینکه نسبتاً افرادی بی‌تجربه هستند با یک انگیزه واقعی برای جستجوی کامل مسئله.

آیا می‌توان فرض کرد که کیفیت دانش اکتسابی از افراد نوع اول همیشه بالاتر از نوع دوم است؟ عموماً نه. انگیزه‌ها می‌توانند متفاوت باشند. اما اگر افراد را منحصر بر حسب تجربه‌هایشان وزن دهی کنیم، افراد نسبتاً بی‌تجربه‌تر از افراد باتجربه‌تر قابلیت اعتماد کمتری دارند.

بعد از اینکه افراد مختلف با توجه به میزان تجربه و خبرگی‌شان وزن دهی شدند می‌توان با استفاده از تکنیکهای موجود از جمله میانگین وزنی ترکیب نقشه‌های حاصله از افراد خبره مختلف را انجام داد.

7.3.3: نحوه استنتاج در FCM :

استنتاج در یک FCM به صورت فعال سازی مفاهیم، که به واسطه یالها و گره‌ها در FCM جریان می‌یابد، صورت می‌گیرد. بعد از اینکه FCM به وسیله یک فرآیند پالس به جریان می‌افتد، یک ضرب بردار- ماتریسی تکراری، تا زمانی که به یک دور حدی یا وضعیت حدی و یا یک وضعیت بی‌نظمی برسد؛ انجام می‌گیرد. همانطور که قبلاً گفته شد، FCM زمانی به یک وضعیت حدی می‌رسد که وضعیت جدید مساوی با یک وضعیت مواجه شده قبلی باشد. بنابراین یک وضعیت حدی، یک سیکل حدی با فقط یک وضعیت است.

یکی از مزایای تکنیک نقشه‌های شناختی فازی این است که اجازه می‌دهد که اثر استراتژی‌های طراحی سطوح بالا را ارزیابی کرد که همان اثر تغییرات تعمودی در سیستم است. به ویژه به استراتژی‌هایی که مربوط به تغییر اثر الگوی شکست و تغییر علامت یک یال داده شده است، همچنین کشف اینکه چگونه این تغییرات منجر به ثبات می‌شوند گرایش دارد.

8.3.3: ثبات و حلقه‌های بازخورد :

مهمترین ویژگی یک سیستم ثبات آن است. یک سیستم با ثبات یا پایا نامیده می‌شود، اگر در موقعیتی که یک تغییر خارجی در بعضی متغیرها اتفاق بیفتد، مقدار هیچ متغیری بزرگ و بزرگتر نشود.

در حالت عمومی، ثبات یک نقشه شناختی فازی، بستگی به علامت یالی از زنجیر دارد که تحلیل می-شود. یک متغیر یک متغیر آغازگر پایا نام دارد اگر هرگاه یک افزایش ناگهانی در آن اتفاق بیفتد، تغییرات نتیجه شده در هیچ جای دیگری از سیستم، مقدار بزرگتری را تولید نکند. عدم ثبات از ترویج تغییرات در خود سیستم حاصل می-شود. بنابراین اگر یک متغیر داده شده به عنوان یک متغیر آغازگر بی-ثبات شناخته شود، عدم ثبات می-تواند با نشان دادن تغییرات خارجی بیشتر در سیستم و در دیگر متغیرها خنثی شود. یعنی به عبارتی در عدم ثبات، تغییرات حاصله در یک متغیر به دیگر متغیرها انعکاس می-یابد اما در حالت ثبات هر تغییر حاصله به دیگر متغیرها منتقل نمی-گردد.

به عبارتی، یک سیستم پایا نام دارد اگر هر متغیر تحت تاثیر تغییرات خارجی در هر متغیر دیگر ثابت بماند. پیش-بینی مقادیر پایایی، برای تعیین اثرات شکستها و علتهای برای یک الگوی شکست ویژه است و نیز اینکه چگونه یک اثر علت شکست ویژه، در سراسر ساختار نقشه رواج می-یابد. عدم ثبات همچنین می-تواند برای پیش-بینی وجود روابط بحرانی به کار رود.

حلقه‌های بازخورد، مانند چرخه‌ها در گرافهای جهتدار هستند. اگر حلقه‌های بازخوردی زیادی وجود داشته باشند اغلب منجر به عدم ثبات می-شوند زیرا تغییرات خارجی کوچکی می-تواند به فراتر از مقادیر از پیش تعیین شده اولیه بزرگنمایی شود. حلقه‌های بازخورد منفی اغلب منجر به ثبات یا پایایی می-گردند هرچند که آنها می-توانند منجر به نوسانات بزرگ و بزرگتر شوند که دیگر موقعیت عدم پایایی است.

تشخیص حلقه‌های بازخورد مثبت و منفی ساده است. یک چرخه یک حلقه بازخورد مثبت است، اگر و فقط اگر تعدادی زوج از علامتهای منفی وجود داشته باشد و یک چرخه با تعدادی فرد از علامتهای منفی، حلقه بالانس یا تعادل نام دارد.

حضور حلقه‌های بازخورد به مقدار زیادی در ثبات یا عدم ثبات تاثیر دارد و با شناختن این حلقه‌ها می-توان فاکتورهای اساسی برای ارائه تغییر در سیستم را شناخت. یک حلقه بازخورد را می-

توان بدون دانستن قوت اثر، تاخیرات زمانی، یا اینکه چگونه تغییرات در سیستم رواج می‌یابد، تشخیص داد. اگر مخلوطی از حلقه‌های بازخورد که بعضی مثبت و بعضی منفی‌اند وجود داشته باشد تعیین اینکه اثر کل چه خواهد بود آسان نیست. در هر مورد تشخیص حلقه‌های بازخورد یگ گام اساسی در تعیین رفتار سیستم است. اغلب سیستم‌های پویای غیرخطی بی ثبات هستند.

3-4: جمع بندی

در این فصل روش مورد استفاده در ارزیابی میزان بحرانی بودن شکستها که همان روش میانگین وزنی هندسی می‌باشد در حالت بسط داده شده آن و با در نظر گرفتن فاکتور هزینه بیان گردید و سپس به چگونگی استفاده از FCM ها در مدلبندی FMEA پرداخته شد. در فصل بعدی به ارائه نتایج محاسباتی در مطالعه موردی شرکت ایران خودرو پرداخته می‌شود.