کاربرد FMEA فازی برای بهبود گردش کار در اتاق‌های عمل

رقیه خشا [۱]، محمدمهدی سپهری [*۲]، توکتم خطیبی [۳] و احمدرضا سروش [۴]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد بخش مهندسی صنایع - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

[۲] دانشیار بخش مهندسی صنایع - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

[۳] دانشجوی دکتری مهندسی صنایع - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

[۴] استاد گروه جراحی عمومی دانشکده پزشکی - دانشگاه علوم پزشکی تهران

(تاریخ دریافت ۹۲/۲/۲۲، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده ۹۲/۴/۲۹، تاریخ تصویب ۹۲/۷/۲۱)

چکیده

از آنجایی که پدیده وقفه در اتاق‌های عمل بسیار اتفاق می‌افتد، تیم جراحی آن را غیرقابل اجتناب و جزیی از گردش کار تصور می‌کند. وقفه، سبب کاهش کارآیی و اتلاف منابع بیمارستانی است و جایگاه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی را در سازماندهی بهینه مجموعه فعالیت‌ها خدشه‌دار می‌کند. برای کاهش این پدیده و بهبود گردش کار، ابتدا لازم است عوامل وقفه را شناسایی و سپس بر اساس میزان تأثیر آنها در شکست سیستم، رتبه‌بندی کرد. بدین منظور می‌توان از FMEA استفاده کرد که با کمک شاخص عدد اولویت ریسک، حالات شکست در یک سیستم را ارزیابی می‌کند. ولی نحوه محاسبه این شاخص، انتقادهایی را به همراه دارد که برای رفع آن، این روش با تئوری فازی ترکیب و رویکرد پیشنهادی در بیمارستان شریعتی پیاده‌سازی شده است. به موقع شروع نشدن اولین عمل جراحی، کمبود تخت و کارکنان ریکاوری، کمبود بیماربرها و خدمه بیماربر و ارتباطات ضعیف پذیرش و اتاق‌های عمل به عنوان مهم‌ترین عوامل وقفه این بیمارستان شناسایی شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: گردش کار، اتاق عمل، وقفه، FMEA فازی

مقدمه

اتاق‌های عمل یکی از بخش‌های کلیدی هر بیمارستان محسوب شده [۱] که سهم ۴۰ درصدی از کل هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند [۲]. مدیریت بیمارستان در اتاق‌های عمل، منابع ارزشمند و گران‌قیمتی را صرف می‌کند تا عمل‌های جراحی طبق برنامه‌ریزی و زمان‌بندی خود انجام گیرند [۳]. اما در بعضی مواقع رخدادهای نامطلوب و بدون ارزش افزوده، سبب بروز وقفه و اتلاف زمان در یک رویه جراحی می‌شوند. وقفه منجر به قطع شدن و توقف در مسیر جراحی شده و انتظار را برای تیم جراحی به وجود می‌آورد. وقفه زمان یک عمل را افزایش داده و باعث تأخیر می‌شود [۴] که به عنوان یک مانع در جریان برنامه‌ریزی شده یک بیمار در اتاق عمل تلقی می‌شود و باعث از دست رفتن نقش و جایگاه برنامه‌ریزی و زمان‌بندی در سازماندهی بهینه مجموعه فعالیت‌ها می‌شود [۵]. از طرفی دیگر، طولانی شدن عمل‌های جراحی کاهش کیفیت عملکرد پزشکان را در پی داشته [۶] و باعث به موقع شروع نشدن جراحی‌های برنامه‌ریزی‌شده بعدی می‌شود و در نتیجه نارضایتی بیماران و همراهانشان را به همراه خواهد داشت[۷]. وقفه، یکی از دلایل نبود کارآیی و اتلاف منابع بیمارستانی است و نیز یکی از عوامل مهم شکست در سیستم‌های حوزه بهداشت و درمان تلقی می‌شود[۸ , ۹].

عوامل متعددی سبب بروز وقفه در حین یک عمل جراحی می‌شوند و مطالعات بسیاری نیز برای تعیین علل آن انجام شده است [۱۰, ۱۱]. اما هیچ یک از آن‌ها طبقه‌بندی جامع و کاملی را از این علل ارائه نداده‌اند [۷]. برخی مقالات فرآیندهای ناکارآمد، سیستم‌های معیوب و عوامل محیطی [۱۲] را بررسی کردند. برخی، عوامل مربوط به تجهیزات و ابزار پزشکی [۵] را در نظر گرفتند و برخی دیگر نیز، عوامل انسانی، کار تیمی و ارتباطات ناکافی و نامناسب [۱۳] را عامل وقفه و هدررفت زمان در حین یک فرآیند جراحی دانستند. در نتیجه نبود یک طبقه‌بندی کامل و جامع از این علل به شدت احساس می‌شود. از طرفی دیگر، به دلیل تعدد عوامل وقفه و تأثیرگذاری ناهمسان بر سیستم و متفاوت بودن درجه اهمیت آنها، اولویت‌بندی آن‌ها برای یافتن مهم‌ترین عوامل لازم به نظر می‌رسد.

* نویسنده مسئول: تلفن و فاکس: ۰۲۱-۸۲۸۸۳۳۷۹ ، Email: mehdi.sepehri@modares.ac.ir

بنابر موارد بیان‌شده، هدف از این تحقیق، ارائه رویکردی برای شناسایی و سپس اولویت‌بندی علل وقفه و هدررفت زمان در حین عمل‌های جراحی است. در سال‌های گذشته، تحقیقات زیادی برای شناسایی، اولویت‌گذاری و تحلیل عوامل ریسک و شکست در یک سیستم انجام شده‌اند [۱۴] و روش‌های متداولی نیز در این حوزه وجود دارند. تجزیه و تحلیل کیفی، نیمه‌کمّی و کمّی، انواع این روش‌ها را تشکیل می‌دهند [۱۴]. در میان این سه دسته، تجزیه و تحلیل کیفی (مانند چک‌لیست‌ها) به طور گسترده در منابع تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ هر چند اطلاعات به دست آمده از آن بسیار محدود و بیش از حد ذهنی است. در روش نیمه کمّی (مانند تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن) تجزیه و تحلیل بر اساس تجربیات و قضاوت شخصی افراد درگیر در سیستم است. در روش تجزیه و تحلیل کمّی (مانند درخت تصمیم)، میزان ریسک به دقت محاسبه می‌شود، اما استفاده از آن، به دلیل نیازمندی به داده‌های زیاد، از دو روش دیگر دشوارتر است و کمتر مورد توجه محققان قرار می‌گیرد. بیشتر محققان از یک روش کیفی یا نیمه‌کمّی برای ارزیابی حالات شکست و ریسک در سیستم‌های مورد مطالعه خود بهره می‌گیرند [۱۴].

در این مقاله از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن[1] در حالت فازی یا FMEA فازی برای اولویت‌بندی و ارزیابی عوامل بروز وقفه در حین عمل‌های جراحی استفاده می‌شود. بدین منظور ابتدا رویکرد سنتی و سپس فازی FMEA و مزایا و معایب آن‌ها معرفی و در ادامه به مروری بر منابع تحقیق پرداخته می‌شود. در بخش روش کار، رویکرد پیشنهادی این مقاله معرفی و سپس در یک مطالعه موردی در بیمارستان شریعتی تهران به کار گرفته و نتایج آن به طور کامل شرح داده می‌شود.

رویکرد سنتی FMEA

تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات آن یا FMEA برای نخستین بار در سال ۱۹۵۰ در یک شرکت هواپیمایی برای ارزیابی ایمنی سیستم و آنالیز قابلیت اطمینان به کار گرفته شد [۱۱]. این تکنیک برای شناسایی، ارزیابی، پیشگیری، کنترل یا حذف حالات، عوامل و اثرات شکست‌های بالقوه در یک سیستم، فرآیند، طرح یا خدمت، پیش از آنکه محصول نهایی به دست مشتری برسد، استفاده می‌شود [۱۵]. از آنجایی‌که در FMEA از حالات شکست صحبت می‌شود، ابتدا باید این کلمه تعریف شود. حالت شکست، یک واقعه، رویداد یا وضعیتی نامشخص است که وقوع آن می‌تواند اثری منفی روی یکی از اهداف پروژه یا سیستم نظیر هزینه، کیفیت، زمان و نظایر آنها داشته باشد [۱۶]. در حال حاضر از این روش، به طور گسترده در صنایع خودروسازی، هوا و فضا و صنایع الکترونیکی برای شناسایی، اولویت‌بندی، رفع یا کاهش حالات بالقوه شکست در یک سیستم استفاده می‌شود [۱۷]. بعد از موفقیت FMEA در این صنایع، در حوزه سلامت نیز مورد توجه محققان قرار گرفته است. با به‌کارگیری این روش در بهداشت و درمان، نوعی تفکر سیستماتیک برای ایمنی در فرآیند مراقبت از بیماران پایه‌ریزی می‌شود [۱۸].

در رویکرد سنتی FMEA، برای اولویت‌بندی حالات شکست، از یک شاخص با عنوان عدد اولویت ریسک[2] یا RPN طبق رابطه (۱) استفاده می‌شود. این شاخص از حاصل‌ضرب سه متغیر احتمال[3] وقوع شکست‌های بالقوه، قابلیت کشف[4] شکست‌های بالقوه و درجه وخامت[5] شکست‌های بالقوه محاسبه می‌شود [۱۶].

- احتمال وقوع مشخص می‌کند که یک علت یا مکانیزم بالقوه شکست با چه تواتری رخ می‌دهد.
- قابلیت کشف، مبین توانایی پیش‌بینی یک شکست قبل از رخداد آن است.
- درجه وخامت، میزان اثر شکست بر سیستم را تعیین می‌کند. شدت یا وخامت شکست فقط در مورد اثر آن به‌کار گرفته می‌شود:

$$RPN = O \times S \times D \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، O، S و D به ترتیب احتمال وقوع، درجه وخامت و قابلیت کشف خطرهای بالقوه را نشان می‌دهند. در این روش به هر یک از این متغیرهای ورودی، مقادیری بین ۰ تا ۱۰ تخصیص داده می‌شود. به طوری که مقادیر بیشتر، بیانگر تأثیر نامطلوب‌تر متغیرها بر سیستم است [۱۶]. با توجه به دامنه مقیاس‌گذاری متغیرهای ورودی، RPN می‌تواند مقادیری بین ۰ تا ۱۰۰۰ اختیار کند. بعد از محاسبه عدد اولویت ریسک، عواملی که مقادیر RPN آنها مقداری بزرگ‌تر از حد مطلوب داشته باشند،

باید مورد بازنگری قرار گرفته و راهکارهای پیشگیرانه یا اصلاحی را در مورد آنها به‌کار بست [۱۶].

اگر چه روش FMEA به طور گسترده در منابع تحقیق استفاده می‌شود، اما نقاط ضعف اساسی دارد. این رویکرد، به دلیل روشی که برای محاسبه شاخص عدد اولویت ریسک دارد، همواره مورد انتقاد محققان است [۱۹].

نقاط ضعف اساسی روش FMEA سنتی عبارتند از:

- مقادیر متغیرهای ورودی FMEA اغلب از تجربیات تیم کاری و قضاوت خبرگان به دست می‌آیند، ولی گاهی به دلیل اشتباهات، تناقض‌ها ، نبود قطعیت و ابهام‌های موجود در قضاوت آنان، ارزیابی ریسک با استفاده از شاخص بالا و بدین شکل ناکافی به نظر می‌رسد [۱۹].
- ترکیبات مختلف از متغیرهای O، S و D می‌توانند منجر به تولید مقادیر یکسانی برای RPN شوند، در صورتی‌که حالات شکست با RPN یکسان ممکن است مفاهیم خطر کاملاً متفاوتی از یکدیگر داشته باشند. برای مثال: (S=2 و O=3 و D=5) و (S=3 و O=5 و D=2) هر دو میزان RPN برابر با ۳۰ دارند، ولی لزوماً پیامدهای خطر در این دو حالت شکست یکسان نیست [۱۹].
- فرض بر این است که سه متغیر O، S و D اهمیت نسبی یکسانی دارند. این موضوع منجر به ساده‌سازی بیش از حد این روش می‌شود. در صورتی که در واقعیت درجه اهمیت و وزن این سه پارامتر می‌توانند با یکدیگر متفاوت باشند [۱۶].
- مقدار RPN فقط از حاصل‌ضرب سه متغیر ورودی به دست می‌آید و روابط غیرمستقیم بین متغیرها در نظر گرفته نمی‌شوند [۱۹].

FMEA با رویکرد فازی

با توجه به مشکلات و ناکارآمدی رویکرد سنتی FMEA، تحقیقات بسیاری با هدف توسعه و بهبود عملکرد آن انجام شده است. یکی از راه حل‌های موجود برای رفع این ناکارآمدی‌ها، ترکیب این رویکرد با منطق فازی است. در تحقیقی در سال ۱۹۹۵ برای نخستین بار، FMEA با منطق فازی ترکیب شد [۱۷]. این منطق در مواردی که داده‌های کافی در دسترس نیست، جمع‌آوری آن‌ها کار مشکلی است یا داده‌ها به صورت عبارات و متغیرهای زبانی و ذهنی موجود است، ابزار مناسبی به‌شمار می‌آید [۲۰].

مزایای استفاده از FMEA فازی عبارتند از [۱۹]:

- در این رویکرد، ترکیبی از عوامل ورودی در مدل در نظر گرفته می‌شود. در واقع، یک حالت شکست، RPN بالایی دارد، اگر ترکیبی از متغیرهای S و O و D این مقدار بالا را برای RPN ایجاد کنند.
- در رویکرد فازی ارتباط RPN با متغیرهای S و O و D غیرخطی است، در صورتی که در روش سنتی این ارتباط، به صورت یک رابطه خطی در نظر گرفته می‌شود.
- استفاده از متغیرهای زبانی در رویکرد فازی به خبرگان اجازه می‌دهد تا مقادیر معنادارتر و ملموس‌تری را به عوامل سه‌گانه تخصیص دهند و این مسئله می‌تواند کارآیی FMEA را بهبود بخشد.
- انعطاف‌پذیری تخصیص وزن به سه عامل ورودی در FMEA فازی از مزایای دیگر آن است.
- استنتاج فازی، قابلیت ترکیب شدن با دانش خبرگان را داشته و نتایج قابل تفسیری را توسط آنان ارائه می‌دهد.

بعد از معرفی FMEA فازی، برخی محققان در مقالات خود به بهبود این روش همت گماشتند [۱۸]. وانگ و همکارانش [۲۰] به ارزیابی ریسک با کمک FMEA فازی با میانگین هندسی وزن‌دار پرداخته تا بر محدودیت‌های روش FMEA سنتی غلبه کنند. شارما و همکارانش [۲۱] یک سیستم پشتیبان از تصمیم‌گیری مبتنی بر منطق فازی برای FMEA طراحی کردند. این سیستم، ۳۸۴ قانون اگر- آنگاه فازی را در خود داشت که استفاده از آن را برای کاربران بی‌تجربه، بسیار آسان می‌کرد. تای و لیم [۲۲] یک مدل عمومی برای کاهش تعداد قوانین اگر- آنگاه فازی ارائه دادند. آنها نتایج مدل خود را در یک کارخانه ساخت قطعات نیمه‌هادی پیاده‌سازی کردند و به هر قانون فازی وزنی متناسب با میزان اهمیت آن تخصیص دادند. پیلای و وانگ [۲۳] در رویکردی جدید به طور همزمان، از قوانین فازی و تئوری‌گری[۸] برای FMEA استفاده کردند.

علاوه بر این مقالات، تحقیقات دیگری که در آن از FMEA فازی به عنوان یک روش حل مسئله استفاده شده نیز منشر شده است [۱۹]. آبدلگاواد و فایک [۲۴] با ترکیب FMEA و AHP فازی، یک سیستم مدیریت ریسک در صنعت ساخت و ساز ارائه کردند. چین و همکارانش [۲۵] یک سیستم طراحی محصول بر پایه FMEA فازی توسعه داده و گوماریس و لاپا [۲۶] از همین روش برای ارزیابی ریسک در یک سیستم کنترل حجم استفاده کردند. خو و همکاران [۱۵] از FMEA فازی برای ارزیابی سیستم موتور دیزلی کمک گرفته و یه و هسی [27] از آن در ارزیابی یک سیستم تصفیه فاضلاب استفاده کردند. آلن هو و همکارانش نیز [۲۸] برای ارزیابی ریسک در خط تولید قطعات موسوم به سبز که تولید آن جزو قطعات خطرناک در قوانین اتحادیه اروپا به شمار می‌آید، از FMEA فازی استفاده کردند. قابل ذکر است که در میان منابع مطالعه‌شده توسط نویسندگان این پژوهش، فقط یک مقاله در حوزه سلامت از روش FMEA فازی و آن هم برای بهبود فرآیند خرید در یک بیمارستان عمومی استفاده کرده است [۱۹].

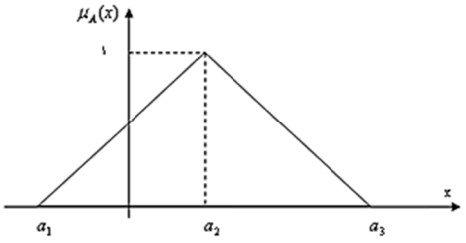
برای تشریح روش استفاده‌شده در این مقاله، ابتدا باید مراحل پیاده‌سازی منطق فازی بیان شود. این مراحل عبارتند از [۲۹]:

۱. تعریف متغیرهای زبانی
۲. ساخت توابع عضویت فازی
۳. ساخت پایگاه قواعد اگر- آنگاه فازی
۴. تبدیل داده‌های ورودی به مقادیر فازی با استفاده از توابع عضویت فازی (فازی‌سازی)
۵. ارزیابی قوانین در پایگاه قواعد فازی (موتور استنتاج فازی)
۶. ترکیب نتایج حاصل از هر قاعده
۷. تبدیل داده‌های خروجی به مقادیر غیرفازی (نافازی‌سازی)

برای استفاده از این منطق، ابتدا چند اصطلاح رایج در آن تعریف می‌شود [30]:

تئوری مجموعه‌های فازی: نظریه مجموعه‌های فازی تعمیمی بر نظریه مجموعه کلاسیک یا قطعی است که با زبان و فهم روزمره انسان‌ها انطباق دارد. یک مجموعه فازی، مجموعه‌ای از اشیاء با درجات عضویت مختلف است و یک تابع عضویت به هر یک از اشیاء، درجه عضویتی را نسبت می‌دهد. طبق تعریف، تابع عضویت، تابعی با برد [0,1]به جای {۰و۱} است. اعضایی که تابع عضویت یک را دارند، با قاطعیت به مجموعه مورد نظر تعلق داشته و سایر مقادیر با قطعیتی متناسب با تابع عضویت‌شان به مجموعه مورد نظر تعلق دارند.

عدد فازی مثلثی: عدد فازی مثلثی به وسیله یک سه تائی مرتب نظیر $A=(a_1,a_2,a_3)$ تعریف و به صورت شکل ۱ نمایش داده می‌شود:



شکل ۱: عدد فازی مثلثی

با توجه به شکل ۱، تابع عضویت مثلثی طبق معادله (۲) تعریف می‌شود:

$$\mu_A(x)=\begin{cases}0 & x<a_1\\ \dfrac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1\le x\le a_2\\ \dfrac{a_3-x}{a_3-a_2} & a_2\le x\le a_3\\ 0 & x>a_3\end{cases} \qquad (۲)$$

متغیر زبانی: یک متغیر زبانی توسط پنج‌تایی {x,T(x),U,G,M} تعریف می‌شود که در آن X نام متغیر و T(X) مجموعه نام‌های مقادیر زبانی X به‌صورت اعداد فازی در مجموعه مرجع U است. G یک قانون گرامری برای تولید مجموعه عبارت‌های T(X) است و M یک قاعده معنایی است که به هر عبارت، معنای آن را مربوط می‌کند. متغیر زبانی یک قالب مناسب برای بیان ریاضی مفاهیم پیچیده و مبهم ذهنی است، بخصوص در مواردی که نیاز به طبقه‌بندی حالت‌های مختلف از یک مفهوم وجود دارد.

پایگاه قواعد فازی: شامل مجموعه قواعد" اگر- آنگاه" فازی است که استنتاج بر اساس این قواعد انجام می‌گیرد.

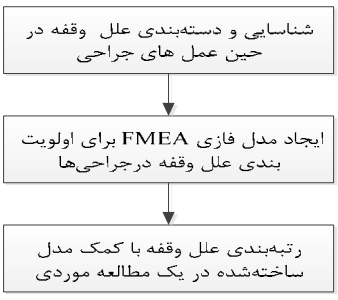
موتور استنتاج فازی: قواعد پایگاه را به یک نگاشت از مجموعه فازی در فضای ورودی، به مجموعه فازی در فضای خروجی بر اساس اصول منطق فازی تبدیل می‌کند. دو موتور استنتاج فازی معروف وجود دارد؛ موتور استنتاج ممدانی[۶] و موتور استنتاج تاکاگی سوگنو[۷]. موتور استنتاج ممدانی به دلیل دقت در منابع تحقیق، بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

فازی‌سازها: ورودی‌های سیستم اطلاعات به شکل فازی هستند. این اطلاعات باید به زبان ریاضی برگردانده شوند. فازی‌سازها با توجه به توابع عضویت تعریف شده برای متغیرهای ورودی، این عمل را انجام می‌دهند.

نافازی‌سازها: حاصل بخش استنتاج فازی یک مجموعه فازی است و به این دلیل که در عمل به یک عدد دقیق به عنوان خروجی سیستم نیاز است، باید این خروجی غیر قطعی را به شکل قطعی درآورد. نافازی‌ساز، با توجه به تابع عضویت متغیر خروجی، این مجموعه فازی را به یک متغیر با مقدار حقیقی در خروجی تبدیل می‌کند. برای نافازی‌سازی، الگوریتم‌های مختلفی وجود دارد که پرکاربردترین آنها روش مرکز ثقل است.

روش کار

برای شناسایی و سپس اولویت‌بندی علل وقفه و هدررفت زمان در حین عمل‌های جراحی، روش پیشنهادی در این تحقیق، به سه گام اصلی تقسیم‌بندی و در شکل ۲ نشان داده می‌شود:

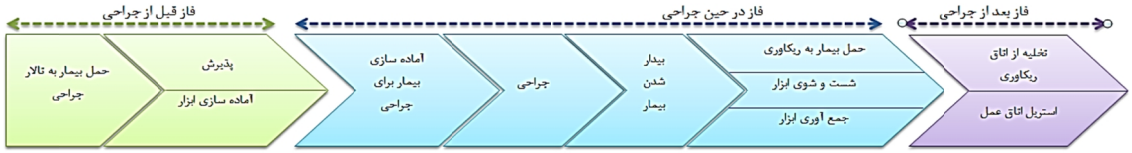


شکل ۲: مراحل انجام روش تحقیق

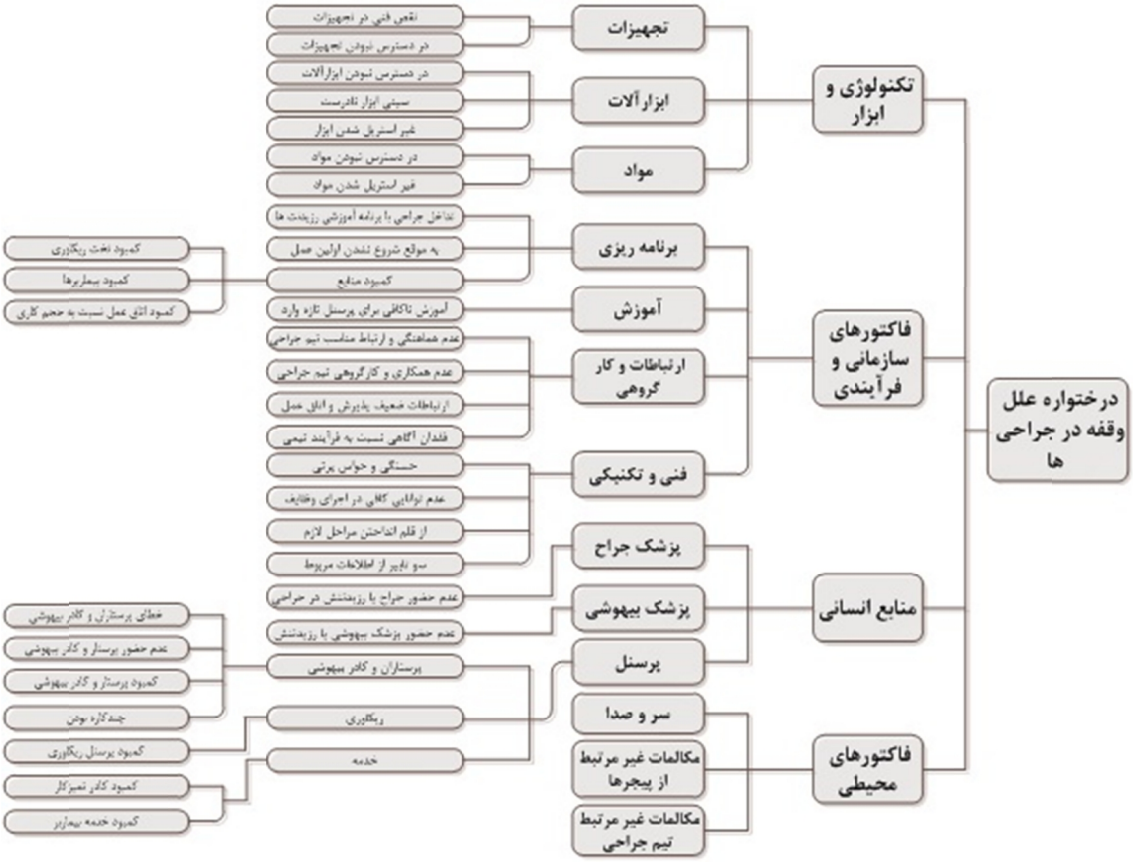
شناسایی و دسته‌بندی علل وقفه در عمل‌های جراحی

فرآیند جراحی را می‌توان به سه فاز متمایز تقسیم کرد؛ مرحله مراقبت قبل از عمل، مراقبت در حین عمل و مراقبت پس از عمل. در فاز اول، بیمار برای جراحی از پیش زمان‌بندی‌شده وارد پذیرش تالار جراحی می‌شود. سپس پرستار ریکاوری[۹] به همراه پزشک بیهوشی، بیمار را از نظر ناشتا بودن، علائم حیاتی، کامل بودن آزمایشات و... چک می‌کنند. همزمان با این مرحله، پرستار سیرکولار[10] ابزار و مواد لازم را برای جراحی مهیا می‌کند. با شروع فاز بعدی، بیمار وارد اتاق عمل مربوطه شده و پرستار سیرکولار بیمار را برای قرارگیری در موقعیت مناسب آماده می‌کند. در همین مرحله، پزشک بیهوشی بیمار را بیهوش کرده و جراحی با کمک جراح، پرستار اسکراب[11] و تکنسین بیهوشی آغاز می‌شود. بعد از اتمام عمل در صورت در دسترس بودن تخت و کارکنان ریکاوری، بیمار به بخش ریکاوری انتقال می‌یابد و همزمان ابزار استفاده‌شده جمع‌آوری و شست و شو می‌شود. در فاز سوم، بیمار در ریکاوری، دوره بهبود بعد از عمل را طی می‌کند و همزمان اتاق عمل برای جراحی بعدی استریل می‌شود. در شکل ۳ جزییات این سه فاز نمایش داده می‌شود.

وقفه ممکن است در هر یک از این سه فاز به وقوع بپیوندد و دلایل خاص خود را نیز داشته باشد. در این مقاله برای شناسایی این عوامل، از تحقیقات پیشین استفاده شد [۵،۷،۱۰،۱۱،۱۲،۱۳]. علل استخراج شده در این مقالات که هر یک رویکرد مخصوص به خود را نسبت به این پدیده منفی داشتند، به شکل یکجا جمع‌آوری و به صورت یک درختواره طبقه‌بندی شدند. سپس این دسته‌بندی به تأیید تعدادی از خبرگان بیمارستانی شامل پزشکان و پرستاران رسید و بنا به نظرات آنها تغییراتی در درختواره ابتدایی داده شد. در واقع جایگاه برخی از این عوامل در درختواره طبق نظر خبرگان به شیوه‌ای متفاوت با مقالات پیشین در نظر گرفته شده است. شکل ۴، این درختواره را نمایش می‌دهد. در سطح اول و گره‌های والد، عوامل وقفه، به علل مرتبط با تکنولوژی و ابزار، علل مرتبط با عوامل سازمانی و فرآیندی، علل مرتبط به منابع انسانی و علل مرتبط با عوامل محیطی تقسیم‌بندی شده است. سپس هر علت کلان به عوامل سطح پایین‌تر دسته‌بندی شده و در نهایت در گره‌ها، ۳۳ علت وقفه شناسایی شده است.



شکل ۳: نمایش شماتیک فرآیند جراحی در سه فاز



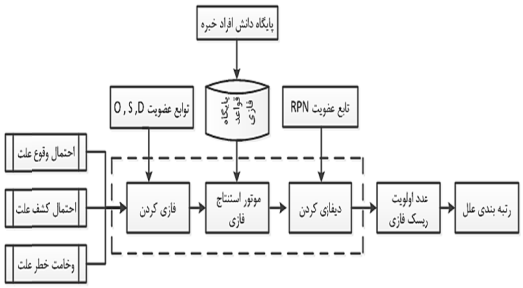
شکل ٤: درختواره علل وقفه در فرایند جراحی

جدول ۱: متغیرهای زبانی تعریف شده در رویکرد FMEA فازی

متغیرهای زبانی	نماد	رتبه تخصیص داده شده	عدد فازی تخصیص داده شده			O	Not- D	S	RPN
			a_1	a_2	a_3				
خیلی کم	VL	۱،۲	۰	۰	۲	۰ تا ۵ درصد	قابل شناسایی	بی خطر	بدون ریسک
کم	L	۳،۴	۱	۳	۵	۵ تا ۱۰ درصد	احتمال بالا در شناسایی	خطر کم	ریسک پایین
متوسط	M	۵،۶،۷	۳	۵	۷	۱۰ تا ۱۵ درصد	احتمال ۵۰-۵۰ در شناسایی	خطر متوسط	ریسک متوسط
زیاد	H	۸،۹	۵	۷	۹	۱۵ تا ۲۰ درصد	احتمال کم در شناسایی	خطر پایین	ریسک بالا
خیلی زیاد	VH	۱۰	۸	۱۰	۱۰	بیش از ۲۰ درصد	غیر قابل شناسایی	خطر بسیار پایین	ریسک بسیار بالا

ایجاد مدل فازی FMEA برای اولویت‌بندی دلایل وقفه در جراحی‌ها

برای ایجاد مدل FMEA فازی، از جعبه ابزار فازی نرم‌افزار MATLAB استفاده شده‌است. شکل ۵، چارچوب کلی مراحل ساخت این مدل را در این مقاله نشان می‌دهد:



شکل ۵: چارچوب مراحل ساخت مدل FMEA فازی

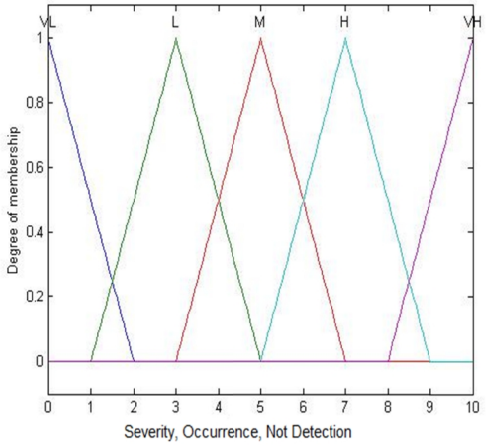
برای پیاده‌سازی این چارچوب باید گام‌های زیر به ترتیب انجام گیرد:

- تعریف متغیرهای زبانی و توابع عضویت فازی
- تعریف پایگاه قوانین اگر- آنگاه فازی
- تعریف موتور استنتاج فازی
- تعریف الگوریتم‌های فازی ساز و نافازی‌ساز

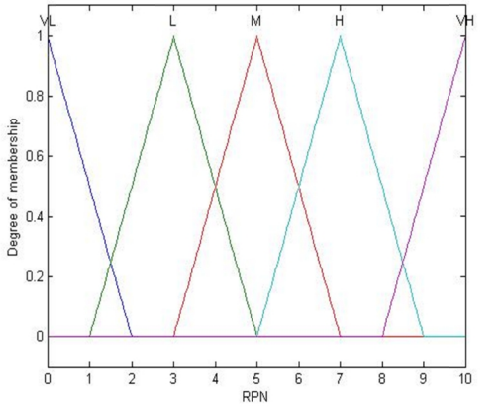
ابتدا، متغیرهای زبانی و توابع عضویت فاری سه متغیر ورودیO، D و S و نیز تابع عضویت تنها متغیر خروجی یعنی RPN تعریف می‌شود. جدول ۱، متغیرهای زبانی مدل فازی و اعداد فازی تخصیص داده شده به هریک را که با کمک خبرگان بیمارستانی و مقالات گذشته [۱۴]، تعریف شده است، نمایش می‌دهد. نکته قابل ذکر این است که هیچ مبنای علمی برای انتخاب متغیرهای زبانی و مقادیر تخصیص داده‌شده به آنها وجود ندارد. این انتخاب توسط اعضای تیم FMEA انجام می‌گیرد [۱۶].

بعد از تعریف متغیرهای زبانی و به کمک آنها، توابع عضویت مثلثی استخراج می‌شود. شکل ۶ و شکل ۷ این توابع عضویت را به ترتیب برای متغیرهای ورودی و متغیر خروجی نشان می‌دهند.

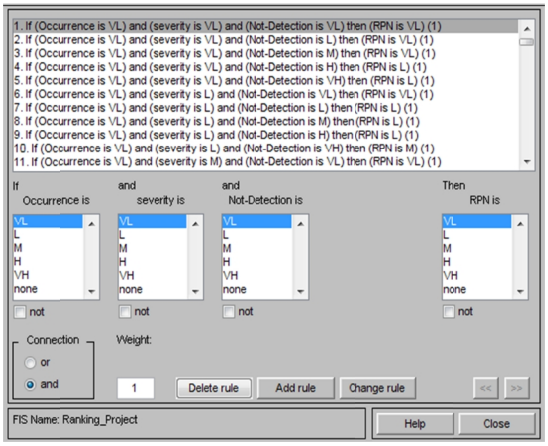
بعد از مراحل طی شده، مجموعه قوانین " اگر- آنگاه" موردنیاز برای منطق فازی با استفاده از مقاله پیشین [۱۹] استخراج می‌شود. از آنجا که ۳ متغیر ورودی با ۵ متغیر زبانی مرتبط با هریک وجود دارد، در مجموع ۱۲۵ قاعده فازی قابل استخراج است. برای مثال یکی از این قوانین به صورت زیر تعریف می‌شود؛ اگر (احتمال وقوع کشف حالت شکست، خیلی کم) و (احتمال کشف حالت شکست، کم) و (وخامت خطر حالت شکست، زیاد رتبه‌بندی گردد)، آنگاه (عدد اولویت ریسک برای این حالت شکست، کم) خواهد بود. شکل ۸ نحوه پیاده‌سازی این قوانین فازی را نشان می‌دهد.



شکل ٦: توابع عضویت سه متغیر ورودی FMEA فازی

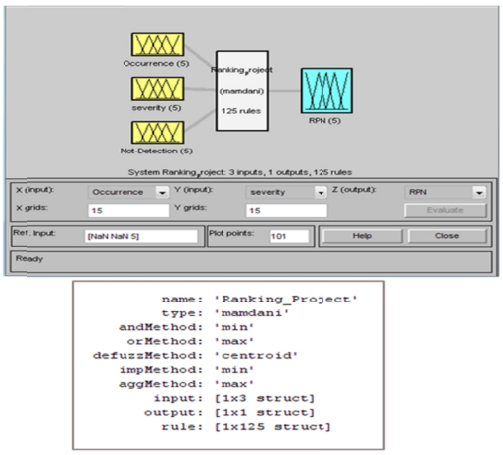


شکل ۷: تابع عضویت متغیر RPN در FMEA فازی



شکل ۸: قوانین "اگر-آنگاه" فازی

در این مقاله، برای استنتاج فازی از موتور استنتاج ممدانی به دلیل دقت آن و برای نافازی‌سازی نیز از الگورتیم مرکز ثقل به دلیل کاربرد فراوان در منابع تحقیق استفاده می‌شود [۱۴, ۱۵, ۱۹, ۲۶]. شکل ۹ نحوه پیاده‌سازی این پارامترها را نمایش می‌دهد:

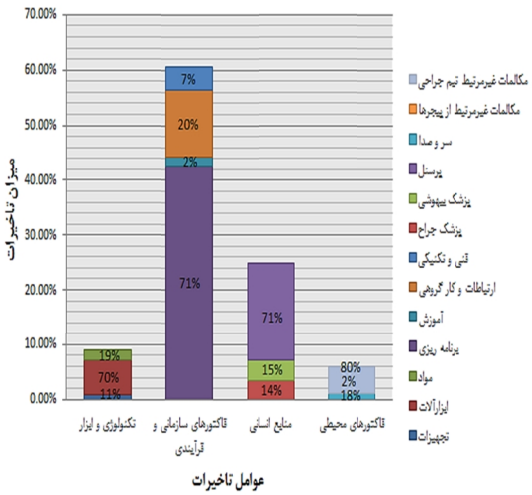


شکل ۹: سایر پارامترهای سیستم فازی طراحی شده

رتبه‌بندی علل وقفه در عمل‌های جراحی

در گام سوم، روش پیشنهادی و مدل فازی ساخته‌شده در این مقاله، در اتاق‌های عمل بیمارستان شریعتی تهران پیاده‌سازی می‌شود. بیمارستان شریعتی، یک بیمارستان عمومی است که در سال ۱۹۷۴ تأسیس شد. تالار جراحی این بیمارستان ۱۵ اتاق عمل، ۲ اتاق ریکاوری و ۲ اتاق استریلیزاسیون دارد. سرویس‌های جراحی که در این بیمارستان به بیماران ارائه می‌شوند عبارتند از: جراحی عمومی، ارتوپدی، جراحی مغز و اعصاب، ارولوژی، توراکس، قلب، زنان و زایمان و فک و سر و گردن.

برای محاسبه متغیرهای ورودی در روش پیشنهادی، تعداد ۳۰ عمل جراحی از سرویس‌های مختلف که از زمان شروع پذیرش بیمار در تالار جراحی تا ترخیص از آن (سه فاز یک عمل جراحی) را پوشش می‌دهد، توسط محققان این مقاله از نزدیک مشاهده شده است. در این مشاهدات، هر گونه وقفه‌ای که در فرایند جراحی رخ می‌داد، به همراه مدت زمانی که آن علت فرایند جراحی متوقف می‌شد، ثبت شد. قابل ذکر است، این ۳۰ عمل جراحی در مجموع شامل ۵۰۴۰ دقیقه مشاهده بود که در مجموع ۹۰۸ دقیقه آن (۱۸٪ کل زمان مشاهده شده) به اتلاف زمانی و وقفه در فرایند جراحی مربوط می‌شد. با محاسبات انجام شده روی این داده‌ها طبق شکل ۱۰، عوامل مرتبط با عوامل سازمانی و فرآیندی، بیشترین دلیل هدررفت زمان و وقفه را در این بیمارستان سبب شده است. نرخ ایجاد وقفه توسط سایر علل نیز به تفکیک در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.



شکل ۱۰: نرخ وقفه در جراحی ها به تفکیک علت پدیدآورنده

برای محاسبه متغیر O از شکل ۱۰ و جدول ۱، استفاده می‌شود. به این ترتیب که با توجه به میزان درصد مربوط به هر علت، متغیر زبانی با کمک جدول ۱ تخصیص داده می‌شود. برای تعیین مقادیر متغیر D و S جلسه‌ای با خبرگان بیمارستانی شامل سرپرستار اتاق عمل و پرستار

ریکاوری بیمارستان شریعتی تشکیل شد. مقادیر این دو متغیر ورودی با استفاده از دانش آن‌ها از طریق مصاحبه حضوری و به کمک متغیرهای زبانی تعریف شده در جدول ۱ تعیین شده است. بعد از تعیین متغیرهای ورودی، شاخص RPN فازی محاسبه شده، در جدول ۲ نمایش داده می‌شود. عوامل وقفه، همان عوامل طبقه‌بندی‌شده در گره‌های درختواره هستند.

جدول ۲: محاسبه شاخص RPN فازی برای دلایل وقفه در پروسه جراحی در بیمارستان شریعتی

کد وقفه	عوامل وقفه	O	Not-D	S	RPN سنتی	RPN فازی	رتبه در رویکرد سنتی	رتبه در رویکرد فازی
D1	نقص فنی در تجهیزات	۲	۴	۲	۱۶	۳	۶	۳
D2	در دسترس نبودن تجهیزات	۲	۳	۲	۱۲	۳	۷	۳
D3	در دسترس نبودن ابزارآلات	۲	۳	۲	۱۲	۳	۷	۳
D4	سینی ابزار نادرست	۲	۳	۳	۱۸	۳	۵	۳
D5	غیر استریل شدن ابزار	۱	۳	۴	۱۲	۳	۷	۳
D6	در دسترس نبودن مواد	۲	۳	۲	۱۲	۳	۷	۳
D7	غیر استریل شدن مواد	۲	۳	۲	۱۲	۳	۷	۳
D8	تداخل جراحی با برنامه آموزشی رزیدنت‌ها	۲	۲	۲	۸	۳	۸	۳
D9	به موقع شروع نشدن اولین عمل جراحی	۶	۴	۵	۱۲۰	۵	۱	۱
D10	کمبود تخت ریکاوری	۶	۴	۵	۱۲۰	۴	۱	۲
D11	کمبود بیماربرها	۴	۴	۳	۴۸	۴	۴	۲
D12	کمبود اتاق عمل نسبت به حجم کاری	۲	۴	۲	۱۶	۳	۶	۳
D13	آموزش ناکافی برای پرسنل تازه وارد	۲	۳	۲	۱۲	۳	۷	۳
D14	نبود هماهنگی و ارتباط مناسب تیم جراحی	۲	۳	۳	۱۸	۳	۵	۳
D15	نداشتن همکاری و کار گروهی تیم جراحی	۲	۳	۳	۱۸	۳	۵	۳
D16	ارتباطات ضعیف پذیرش و اتاق عمل	۲	۲	۴	۱۶	۴	۶	۲
D17	نبود آگاهی نسبت به فرآیند تیمی	۲	۳	۲	۱۲	۳	۷	۳
D18	خستگی و حواس‌پرتی	۲	۳	۲	۱۲	۳	۷	۳
D19	نداشتن توانایی کافی در اجرای وظایف	۲	۳	۲	۱۲	۳	۷	۳
D20	از قلم انداختن مراحل لازم	۲	۳	۳	۱۸	۳	۵	۳
D21	سوء تابیر از اطلاعات مربوط	۲	۳	۲	۱۲	۳	۷	۳
D22	نبود جراح یا رزیدنتش در جراحی	۲	۲	۲	۸	۳	۸	۳
D23	نبود پزشک بیهوشی یا رزیدنتش	۲	۲	۲	۸	۳	۸	۳
D24	خطای پرستاران و کادر بیهوشی	۲	۳	۲	۱۲	۳	۷	۳
D25	نبود پرستار و کادر بیهوشی	۲	۲	۲	۸	۳	۸	۳
D26	کمبود پرستار و کادر بیهوشی	۲	۲	۲	۸	۳	۸	۳
D27	چندکاره بودن	۲	۲	۲	۸	۳	۸	۳
D28	کمبود پرسنل ریکاوری	۴	۴	۵	۸۰	۴	۲	۲
D29	کمبو کادر تمیزکار	۲	۴	۲	۱۶	۳	۶	۳
D30	کمبود خدمه بیماربر	۴	۴	۴	۶۴	۴	۳	۲
D31	سر و صدا	۲	۴	۲	۱۶	۳	۶	۳
D32	مکالمات غیر مرتبط از پیجرها	۱	۴	۲	۸	۳	۸	۳
D33	مکالمات غیر مرتبط تیم جراحی	۲	۴	۲	۱۶	۳	۶	۳

در جدول ۲، برگ‌های درختواره شکل ۴ رتبه‌بندی شده‌اند. برای رتبه‌بندی عوامل سطح بالاتر یا همان گره‌های والد از میانگین حسابی RPN فازی برگ‌های درختواره استفاده می‌شود. جدول ۳ این مقادیر را نشان می‌دهد:

جدول ۳: رتبه بندی عوامل سطح بالاتر درختواره

عوامل سطح بالاتر وقفه	میانگین RPN فازی	اولویت بندی
تکنولوژی و ابزار	۳	۳
فاکتورهای سازمانی و فرآیندی	۳.۳۵	۱
منابع انسانی	۳.۲۲	۲
فاکتورهای محیطی	۳	۴

نتیجه‌گیری

در این مقاله، با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل وقفه و اتلاف زمانی در اتاق‌های عمل از رویکردی مبتنی بر FMEA فازی استفاده شد. با مطالعه در منابع تحقیق نشان‌دادیم که استفاده از این روش می‌تواند مشکلات و محدودیت‌های روش FMEA سنتی را کاهش دهد و به طور مؤثرتر و کارآمدتر، حالات شکست در یک سیستم را اولویت‌بندی کند. این روش همچنین می‌تواند با ابهامات موجود در قضاوت‌های ذهنی خبرگان و همچنین با نبود قطعیت موجود در سیستم مقابله کند. در نتیجه دقت و درستی نتایج ارزیابی ریسک افزایش می‌یابد. برای تحقق این هدف، ابتدا باید عوامل وقفه در عمل‌های جراحی شناسایی و دسته‌بندی شوند و سپس با کمک مدل FMEA فازی اولویت‌بندی شوند تا مدیریت بتواند با استفاده از نتایج حاصله، اقدامات و راهکارهای اصلاحی را در جهت پیشگیری یا رفع این پدیده منفی به‌کار گیرد.

مدل پیشنهادی در این مقاله، در یک مطالعه موردی در بیمارستان شریعتی تهران پیاده‌سازی شد. ابتدا برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، جلسه‌ای با پرستار ریکاوری و سرپرستار اتاق‌های عمل در بیمارستان تشکیل شد. در این جلسه، رویکرد FMEA سنتی، شاخص عدد اولویت ریسک و نحوه محاسبه‌اش به آنان توضیح داده شد. آنان اذعان کردند که اختصاص عددی بین ۰ تا ۱۰ به سه متغیر O و D و S برای خبرگان بیمارستانی کار دشواری است و آن‌ها ترجیح می‌دهند از روشی استفاده کنند که بتواند با عبارات کیفی این متغیرها را امتیازدهی کند. سپس رویکرد FMEA فازی به آن‌ها معرفی شد و توضیح داده شد که در این روش با استفاده از متغیرهای زبانی که در این مقاله به پنج گروه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شده است، می‌توان سه متغیر ورودی را امتیازدهی کرد. این افراد تخصیص یکی از این متغیرهای زبانی را به هر متغیر ورودی روش FMEA، کار راحت‌تری دانسته و مقادیر تخصیص داده‌شده را دقیق‌تر و معتبرتر می‌دانند؛ زیرا استفاده از عبارات کیفی بر قضاوت‌های ذهنی آنان منطبق‌تر است.

بعد از اعتبارسنجی مدل، مقادیر RPN و RPN فازی محاسبه شد. همان طور که مقادیر جدول ۲ نشان می‌دهد، نتایج RPN سنتی، نتایج رویکرد فازی را تأیید می‌کند. در روش سنتی، شروع نشدن اولین عمل جراحی و کمبود تخت ریکاوری با شاخص RPN یکسان به عنوان مهم‌ترین عوامل وقفه در این سیستم شناخته شده‌اند. کمبود کارکنان ریکاوری در اولویت دوم، کمبود خدمه بیمار در اولویت سوم و کمبود بیماربرها در اولویت چهارم قرار گرفته‌اند. در رتبه‌بندی با رویکرد فازی، به موقع شروع نشدن اولین عمل جراحی در اولویت اول و پنج عامل کمبود تخت ریکاوری، کمبود بیماربر، ارتباطات ضعیف پذیرش بخش جراحی و اتاق‌های عمل، کمبود کارکنان ریکاوری و کمبود خدمه بیماربر با شاخصRPN فازی یکسان در اولویت برابر و دوم قرار می‌گیرند و اهمیت یکسان دارند. طبق نتایج جدول ۳ نیز، عوامل سازمانی و فرآیندی با بیشترین میزان میانگین RPN فازی در اولویت اولویت اول بروز وقفه جای گرفته است.

علاوه بر این مورد، نتایج حاصل از رویکر فازی به خبرگان بیمارستان شامل پرستار بخش ریکاوری و سرپرستار اتاق‌های عمل بیمارستان شریعتی نشان داده شد و آنان نیز تأیید کردند که دو عامل به موقع شروع نشدن اولین عمل جراحی و کمبود پرسنل ریکاوری، مهم‌ترین عامل بروز وقفه در اتاق‌های عمل هستند که در رتبه‌بندی توسط FMEA فازی نیز در جایگاه اول و دوم قرار گرفته‌اند.

نکته بااهمیت دیگر این است که چهار عامل به موقع شروع نشدن اولین عمل جراحی، کمبود تخت ریکاوری، کمبود بیماربر و ارتباطات ضعیف پذیرش بخش جراحی و

اتاق‌های عمل همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، همگی جزو عامل سطح بالاتر عوامل سازمانی و فرآیندی بوده‌اند. دو عامل دیگر یعنی کمبود کارکنان ریکاوری و کمبود بیماربر نیز جزو عامل سطح بالاتر منابع انسانی هستند؛ در نتیجه مدیریت این بیمارستان برای کاهش وقفه و در نهایت بهبود گردش کار، باید بیشترین تلاش خود را برای بهبود عوامل سازمانی و فرآیندی به کار بندد، همان‌طور که در جدول ۳ نیز این مورد تأیید شده است.

در این مقاله، برای رویکرد فازی FMEA مزایای زیادی نسبت به روش سنتی آن برشمرده شده است. ولی در این مقاله، دو مزیت اصلی این رویکرد بیشتر مورد تأکید است؛ اول اینکه این مدل قابلیت به‌کارگیری برای سیستمی را دارد که در آن داده کمّی کافی و قابل اعتماد برای تخصیص رتبه به متغیرهای ورودی O، Sو D وجود ندارد. به عبارت دیگر با به‌کارگیری متغیرهای زبانی، FMEA می‌تواند با دانش خبرگان در اتاق‌های عمل ترکیب شود. دوم اینکه استفاده از متغیرهای زبانی، خبرگان اتاق‌های عمل را قادر می‌کند تا قضاوت‌های واقعی‌تری را از سیستم تحت مطالعه خود داشته باشند؛ در نتیجه نتایج ارزیابی و اولویت‌بندی عوامل وقفه نسبت به روش سنتی بهبود می‌یابد و واقعی‌تر است.

پیشنهادات برای تحقیقات بعدی نیز عبارتند از:

- استفاده از انواع دیگر اعداد فازی: می‌توان به جای اعداد فازی مثلثی که به نمایندگی از متغیرهای زبانی استفاده می‌شوند، از انواع دیگر اعداد فازی مانند اعداد فازی ذوزنقه‌ای یا زنگوله‌ای و... استفاده کرد. تعیین و استفاده از اعداد فازی مناسب‌تر در تحقیقات بعدی لازم به نظر می‌رسد.
- کاهش تعداد قوانین فازی: تجربه نشان می‌دهد همه قوانین "اگر- آنگاه" فازی ممکن، ضروری به نظر نمی‌رسند. کاهش تعداد قوانین فازی، می‌تواند به‌طور مؤثر، توانایی و سرعت مدل را در فرآیند ارزیابی، رتبه‌بندی و اولویت‌گذاری بهبود بخشد و از فرآیند زمان‌بر و خسته‌کننده ساخت پایگاه قوانین فازی دوری کند و بار محاسباتی را در مدل کاهش دهد.

قابل ذکر است، استفاده از FMEA در حوزه سلامت چالش‌ها و محدودیت‌هایی را نیز با خود به‌همراه دارد. چالش اول این است که پیاده‌سازی آن در هر مرحله نیازمند حضور خبرگان و مدیریت بیمارستانی و استفاده از دانش آنها است. از طرف دیگر، شناسایی همه عوامل وقفه در عمل‌های جراحی، موضوعی زمان‌بر و چالش برانگیز است تا فهرست کاملی از این عوامل شناسایی شود و نیازمند به خلق یک فرهنگ مبتنی بر مدیریت ریسک در همه سطوح سازمانی است.

اگرچه این مطالعه، بر مدیریت ریسک وقفه و بهبود گردش کار در اتاق‌های عمل متمرکز شده است، ولی می‌توان از این روش تحقیق با تغییرات اندکی در حوزه‌های دیگر حوزه سلامت نیز بهره گرفت.

مراجع

1- Hans, E.W. and Nieberg,T. (2007) "Operating Room Manager Game." *INFORMS Trans.* Vol. 8, No. 1, PP. 25-36.

2- Pham, D.-N., and A. Klinkert. (2008). "Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem". *Eur J Oper Res.* Vol. 185, No. 3, PP. 1011- 1025.

3- Schofield, W.N., et al. (2005). "Cancellation of operations on the day of intended surgery at a major Australian referral hospital". *Med J Aust.* Vol.182, No. 12, PP. 612-5.

4- Weinbroum, A.A., Ekstein, P. and Ezri ,T. (2003). "Efficiency of the operating room suite." *Am J Surg.* Vol. 185, No, 3. PP. 244-50.

5- Al-Hakim, L. (2008). "Surgical disruption: information quality perspective." *Int J Inform Qual.* Vol. 2, No. 2, PP. 192-204.

6- Nundy, S., et al. (2008). "Impact of preoperative briefings on operating room delays: a preliminary report." *Arch Surg.* Vol. 143, No. 11, PP. 1068-72.

7- Wong, J., et al.(2010). "Delays in the operating room: signs of an imperfect system." *Can J Surg*. Vol. 53, No. 3, PP. 189-95.

8- Tait, A.R., et al.(1997). "Cancellation of pediatric outpatient surgery: economic and emotional implications for patients and their families." *J Clin Anesth*. Vol. 9, No. 3, PP. 213-9.

9- Ivarsson, B., et al. (2002). "Patient reactions to cancelled or postponed heart operations." *J Nurs Manag*. Vol.10, No. 2, PP. 75-81.

10- Dix, P. and Howell ,S. (2001). "Survey of cancellation rate of hypertensive patients undergoing anaesthesia and elective surgery." *Br J Anaesth*. Vol. 86. No. 6, PP. 789-93.

11- Aaserud, M., Trommald, M. and Boynton, J. (2001)."Elective surgery--cancellations, ring fencing and efficiency". *Tidsskr Nor Laegeforen*. Vol. 121, No. 21, PP. 2516-9.

12- Sevdalis, N., et al. (2008). "Annoyances, disruptions, and interruptions in surgery: the Disruptions in Surgery Index (DiSI)." *World J Surg*. Vol. 32, No.8, PP. 1643-50.

13- Vincent, C., et al. (2004). "Systems approaches to surgical quality and safety: from concept to measurement." *Ann Surg*.Vol. 239, No. 4, PP. 475-82.

14- Liu, H.-T. and Tsai,Y.-l. (2012)."A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry." *Safety Sci*. Vol. 50, NO. 4, PP. 1067-1078.

15- Xu, K., et al. (2002). "Fuzzy assessment of FMEA for engine systems." *Reliab Eng Syst Saft*. Vol. 75, No. 1, PP. 17-29.

16- Zhang, Z. and X, Chu. (2011). "Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty." *Expert Syst Appl*. Vol. 38, No. 1, PP. 206-214.

17- Stamatis, D.H. (1995). "Failure mode and effect analysis." Milwaukee, WI: ASQ Quality Press.

18- Spath, P.L. (2003). "Using failure mode and effects analysis to improve patient safety." *AORN J*. Vol. 78, No. 1, PP. 16-37.

19- Kumru, M. and P.Y. Kumru. (2013). "Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital." *Appl Soft Comput*.Vol. 13, No. 1, PP. 721-733.

20- Wang, Y.-M., et al. (2009). "Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean." *Expert Syst Appl*. Vol.36, (2, Part 1), PP. 1195-1207.

21- Sharma, R.K., Kumar,D. and Kumar,P. (2008). "Predicting uncertain behavior of industrial system using FM—A practical case." *Appl Soft Comput*. Vol. 8, No. 1, PP. 96-109.

22- Tay, K .and Lim, C. (2006). "A Guided Rule Reduction System for Prioritization of Failures in Fuzzy FMEA." *Appl Soft Comput*. A. Tiwari, et al., Editors. Springer Berlin Heidelberg. PP. 301-310.

23- Pillay, A. and Wang,J. (2003). "Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning." *Reliab Eng Syst Safe*. Vol. 79, No. 1, PP. 69-85.

24- Abdelgawad, M. and Fayek, A. (2010). "Risk Management in the Construction Industry Using Combined Fuzzy FMEA and Fuzzy AHP." *J Constr Eng Manage*. Vol. 136, No. 9, PP. 1028-1036.

25- Chin, K.-S., Chan,A. and Yang, J.-B. (2008)."Development of a fuzzy FMEA based product design system." *Int J Adv Manuf Tech*. Vol. 36, No. 7-8, PP. 633-649.

26- Guimarães, A.C.F. and Lapa,C.M.F. (2004). "Fuzzy FMEA applied to PWR chemical and volume control system." *Prog Nucl Energ*. Vol. 44, No. 3, PP. 191-213.

27- Yeh, R.H. and M.-H. Hsieh. (2007). "Fuzzy assessment of FMEA for a sewage plant." *J Chin Inst Indust Eng*. Vol.24, No.6, PP. 505-512.

28- Hu, A.H., et al. (2009). "Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP." *Expert Syst Appl*. Vol. 36, No. 3, PP. 7142-7147.

29- Anonymous. (2010). *A short fuzzy logic tutorial.*

30- Zade ,L.A. (1965). "Fuzzy sets." *Inform Control.* Vol. 8, PP. 338-353.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1- Failure Mode and Effect Analysis: FMEA
2- Risk Priority Number: RPN
3- Occurrence
4- Detectability
5- Severity
6- Mamdani
7- Takagi-Sugeno
8- Grey Theory
9- Recovery
10- Circular
11- Scrub