

## مدل سازی سیستم استنتاج فازی برای ارزیابی ریسک‌های بالقوه در تجهیزات پزشکی

محمد ولی پور خطیر<sup>۱</sup>، نرجس قاسم‌نیا عربی<sup>۲</sup>

**چکیده:** امروزه ارزیابی ریسک شکست تجهیزات پزشکی با توجه به نقش حیاتی عملکرد صحیح این تجهیزات، ضرورت اجتناب‌ناپذیری است. در این مطالعه تلاش شده است ریسک شکست تجهیزات اتاق عمل در یکی از بیمارستان‌های شهر تهران تحلیل شود. برای این کار، پس از طراحی سیستم استنتاج فازی چند مرحله‌ای، میزان ریسک نه مورد از شکست‌های مهم تجهیزات این بخش با سیستم مذکور ارزیابی شد. مسئله شایان توجه این مطالعه، ارزیابی شاخص‌های فرعی و مهم مربوط به عوامل اصلی ریسک شکست است که تاکنون در طراحی سیستم‌های استنتاج به آن توجه نشده بود. نتایج حاکی از آن است که شکست‌های «اشکال در کنترل و تنظیمات فشار CO<sub>2</sub>» و «خرابی باتری‌های نیکل - کادمیوم»، به ترتیب از بیشترین و کمترین ریسک برخوردارند و این نتیجه با ارزیابی خبره‌های با تجربه تحقیق نیز سازگار بوده است؛ از این رو طراحی نوعی برنامه نرم‌افزاری کاربرپسند بر مبنای الگوی ارائه شده می‌تواند به بیمارستان‌ها کمک کند تا بدون نیاز به بازرسی‌های حضوری کارشناسان خبره، ریسک خرابی تجهیزات را در دوره‌های معین ارزیابی کنند.

**واژه‌های کلیدی:** تجزیه و تحلیل آثار شکست، تجهیزات پزشکی، سیستم استنتاج فازی.

۱. استادیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران
۲. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۰۶

نویسنده مسئول مقاله: محمد ولی پور خطیر

E-mail: m.khatir1461@gmail.com

## مقدمه

با توجه به نقش بسیار کلیدی سازمان‌های ارائه‌کننده خدمات درمانی در حفظ سلامت و بهبود سطح بهداشت افراد جامعه و وجود وضعیت سخت اقتصادی حال حاضر، مدیران سازمان‌های بهداشت و درمان برای بهره‌مندی از منابع در دسترس، مجبور به استفاده از روش سیستماتیک برای بررسی خرابی در ابزار و تجهیزات پزشکی برای بهبود مستمر فرایند ارائه خدمات این سازمان‌ها هستند (ویتاناچی، یوچیدا، نانایاکارا، سمرانایاکه و اکیتسو، ۲۰۰۷؛ جمشیدی، رحیمی، آیتکدی و رویز، ۲۰۱۵). از سوی، مطابق قانون استاندارد ایمنی بیمار در کمیسیون مشترک اعتباربخشی سازمان‌های بهداشت و درمان (JCAHO)<sup>۱</sup>، مدیران و سرپرستان واحدهای درمانی باید از اجرای برنامه‌های فعال برای کاهش شکست‌های بخش بهداشت و درمان و ریسک‌های مخاطره‌انگیز برای سلامت بیمار اطمینان یابند (اسمیت، ۲۰۰۵). از این رو، در تمام بخش‌های دولتی، خصوصی و تعاونی، تجهیزات پزشکی از نظر اقتصادی و مدیریتی اهمیت خاصی دارد و به دلیل افزایش روز افزون قیمت تجهیزات و در پی آن، هزینه نگهداشت آن و همچنین آسیب‌های جانی و مالی نشئت گرفته از خرابی تجهیزات بر بیماران و کارکنان بیمارستان، اهمیت مدیریت نگهداشت تجهیزات پزشکی را بیش از پیش آشکار می‌کند (لین، وانگ، لین و لیو، ۲۰۱۴).

عملکرد ضعیف تجهیزات پزشکی حیاتی و نگهداری نامناسب از آنها، علاوه بر ریسک آسیب به بیمار، می‌تواند خطرهایی همچون تماس تصادفی با قطعات برقی یا تماس با شکستگی‌های موجود در دستگاه را برای کارکنان بالینی به همراه داشته باشد (ریگویی، ۲۰۰۹). بنابراین، خطرهای مرتبط با آنها به یکی از مسائل مهم و چالش‌انگیز بخش خدمات حوزه سلامت در سراسر جهان تبدیل شده است (فلورنس و کالیل، ۲۰۰۷).

روش تحلیل حالت‌ها و اثرهای شکست (FMEA)<sup>۲</sup>، یکی از ابزارهای ارزیابی و مدیریت خطر است که نگرش سیستمی به شکست‌ها دارد و روش نظامندی برای شناسایی، ارزیابی، پیشگیری، حذف یا کنترل دلیل‌ها و اثرهای مربوط به شکست‌های بالقوه در یک سیستم محسوب می‌شود. این مدل می‌تواند به‌عنوان رویکردی برای پیشگیری از شکست‌ها و بهبود فرایندها با هدف افزایش ایمنی بیمار و به‌عنوان یکی از روش‌های ارزیابی خطر آینده‌نگر که از بین سایر تکنیک‌ها، ارتباط بیشتری با بخش بهداشت و درمان دارد (مظلوم، هاشمی‌زاده، دادپور و ابراهیمی، ۱۳۹۲)، به کار گرفته شود؛ این در حالی است که با توجه به برآوردهای به‌دست آمده توسط پژوهشگران، در بیشتر بیمارستان‌های کشور، مدل مذکور به شایستگی معرفی و استفاده

1. Joint Commission on Accreditation of Healthcare Organizations  
2. Failure Modes and Effects Analysis

نشده است. از این رو مقاله حاضر در صدد است که با رویکرد FMEA، به شناسایی و ارزیابی حالت و اثر شکست بپردازد. شایان ذکر است رویکرد FMEA در حالت کلاسیک بیش از اندازه بر دقت تأکید دارد و تمام عوامل را به صورت قطعی در نظر می‌گیرد و از این جهت با سیستم‌های پیچیده و دنیای واقعی چندان سازگاری ندارد، از این رو باید به دنبال ساخت مدل‌هایی بود که ابهام را بخشی از سیستم در نظر می‌گیرند؛ بر همین مبنای، در این مطالعه به ارزیابی ریسک شکست تجهیزات پزشکی در بخش اتاق عمل یکی از بیمارستان‌های شهر تهران، با رویکرد FMEA فازی و با هدف ارائه رویکردی کاربردی از سیستم استنتاج فازی در بخش سلامت پرداخته شد. در ادامه، چالش اساسی مد نظر این مطالعه به بحث گذاشته خواهد شد.

### پیشینه پژوهش

در کشورهای در حال توسعه، بیمارستان‌ها اغلب از بودجه ناکافی و کمبود کارکنان فنی واجد شرایط رنج می‌برند که این مشکل، به تعمیرات و نگهداری نامناسب و نامنظم تجهیزات پزشکی منجر می‌شود (تافیک، آدا و الصمد، ۲۰۱۳). از سوی دیگر، تعداد روزافزون و پیچیدگی تقاضای تجهیزات پزشکی ایجاب می‌کند که بیمارستان‌ها برنامه‌ای برای اطمینان از ایمنی و عملکرد درست تجهیزات حیاتی تدوین کنند (تقی‌پور، بانجویک و جاردین، ۲۰۱۱). این وضعیت، سازمان‌های بهداشت و درمان را ملزم به استفاده از روشی مؤثر برای اولویت‌بندی دستگاه‌های پزشکی براساس درجه ریسک آنها، به منظور تعمیرات و نگهداری مؤثر و کارآمد می‌کند (جمشیدی و همکاران، ۲۰۱۵). وانگ و لونسون (۲۰۰۰)، هایمن (۲۰۰۳)، ریگوی (۲۰۰۱) و تقی‌پور و همکارانش (۲۰۱۱) در مطالعات خود اظهار داشتند که در ارزیابی ریسک تجهیزات پزشکی، معیارهایی نظیر میزان استفاده از تجهیزات، در دسترس بودن دستگاه‌های مشابه و حساسیت وظیفه دستگاه نیز باید در کانون توجه قرار گیرد.

تاکنون محققان رویکردهای متفاوتی را در بررسی ریسک شکست به کار برده‌اند که در این میان، تکنیک FMEA یکی از پرکاربردترین آنها برای ارزیابی ریسک و قابلیت اطمینان در زمینه پزشکی شناخته شده است (باتبایار، تاکاس و کوزلووسکی، ۲۰۱۶؛ اصفهانی، جوادی، عزیززاده، ۱۳۹۵؛ کاووسی و همکاران، ۱۳۹۵). در مدل کلاسیک FMEA میزان اولویت ریسک شکست از حاصل ضرب سه معیار تشخیص (D)<sup>۱</sup>، احتمال وقوع (O)<sup>۲</sup> و شدت (S)<sup>۳</sup> شکست محاسبه می‌شود ( $RPN = O \times S \times D$ ).

- 
1. Detection
  2. Occurrence
  3. Severity

در این حالت، مجموعه‌های مختلف از معیارهای تشخیص، وقوع و شدت ممکن است RPN یکسانی تولید کنند که این امر موجب ابهام و عدم تمایز ریسک می‌شود و در نتیجه اظهار نظر قطعی را دشوار می‌نماید (وانگ، چین، پون، یانگ، ۲۰۰۹). پیچیدگی فرایند تحلیل ریسک شکست و نبود مدل کمی احتمالی مناسب و همچنین وجود همزمان داده‌های عینی و ذهنی، ایجاب می‌کند برای تبیین روابط علی میان فاکتورها و اولویت‌بندی ریسک شکست‌ها از منطق فازی استفاده شود (آرنولد و دان ماری، ۲۰۱۵). از این رو در بسیاری از تحقیقات اخیر به رویکرد ترکیبی FMEA و منطق فازی توجه شده است (جناب، بلچر و مصلح‌پور، ۲۰۱۵؛ عبدالجواد و فایک، ۲۰۱۰؛ یه و هسیه، ۲۰۰۷؛ تای و لیم، ۲۰۰۶).

در این میان، می‌توان به تحقیقاتی اشاره کرد که به‌طور خاص در حوزه بهداشت و سلامت از FMEA فازی استفاده کرده‌اند. کو، وو و هسو (۲۰۱۲) با استفاده از FMEA فازی به اولویت‌بندی ریسک شکست در ارائه خدمات سرپایی به بیماران مسن تایوان پرداختند. تاوفیک، ادا و سامد (۲۰۱۳) یک مدل با رویکرد فازی برای طبقه‌بندی تجهیزات پزشکی ارائه کردند که نتایج نشان داد در وضعیت واقعی، دستگاه‌های مشابه درجه ریسک متفاوتی دارند. لین، وانگ، لین و لیو (۲۰۱۴) به‌منظور بهبود ایمنی تجهیزات پزشکی و ارتقای سطح کیفیت خدمات بیمارستان، ریسک شکست و قابلیت اطمینان تجهیزات پزشکی را بر اساس FMEA فازی بررسی کردند.

تاکنون برای ترکیب مناسب منطق فازی با مدل FMEA از رویکردهای مختلفی (هوچن لیو، لانگ لیو و نان لیو، ۲۰۱۳) استفاده شده است. از جمله اینها می‌توان به تصمیم‌گیری چند معیاره (لیو، یو، شان و شائو، ۲۰۱۵؛ لیو، یو، یو و شان، ۲۰۱۵؛ وحدانی، سلیمی، چرخچیان، ۲۰۱۵؛ لیو، فان، لی و چن، ۲۰۱۴؛ هلواسیقلو و اوزان، ۲۰۱۴؛ یوکسل، کبی، هوگه و اُزک، ۲۰۱۲؛ آن، چن و باکر، ۲۰۱۱)، برنامه‌ریزی خطی (هادی، حجازی و اسلامی‌نسب، ۲۰۱۳) و هوش مصنوعی (جی، تای و لیم، ۲۰۱۵؛ جونگ، تای و لی، ۲۰۱۳؛ ویندهو، آراویندرج، نارایانان و یوگشواران، ۲۰۱۲؛ تای و لیم، ۲۰۱۰) اشاره کرد (کرک، تای، لیم، ۲۰۱۵).

سیستم استنتاج فازی یکی روش‌های حوزه هوش مصنوعی است که می‌تواند برای ترکیب سه معیار تشخیص (D)، احتمال وقوع (O) و شدت (S) شکست و استنتاج مقدار RPN استفاده شود. مهم‌ترین دلایل ترجیح سیستم استنتاج فازی بر سایر رویکردها عبارت است از: ۱. استخراج RPN بر اساس دانش و تجربه خبرگان از قواعد اگر-آنگاه در مسئله؛ ۲. امکان تحلیل روابط غیرخطی میان RPN و فاکتورهای ورودی شکست؛ ۳. قابلیت پردازش فازی؛ ۴. دریافت اطلاعات کیفی از عوامل سه‌گانه ریسک (کرک و همکاران، ۲۰۱۵).

با توجه به قابلیت‌هایی که بیان شد، تا کنون محققان در حوزه‌های مختلفی از سیستم استنتاج فازی برای ارزیابی ریسک شکست استفاده کرده‌اند. مست کمرو و پینار کمرو (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای برای بررسی ریسک شکست در فرایند خرید بیمارستان، نوعی مدل استنتاج فازی بر مبنای FMEA فازی ارائه دادند. کانامول و نائنا (۲۰۱۶) در تحقیقی با استفاده از مدل‌سازی استنتاج فازی بر مبنای FMEA فازی، به شناسایی و اولویت‌بندی ریسک شکست در فرایند کاری واحد اورژانس پرداختند. خشا، سپهری، خطیبی و سروش (۱۳۹۲) در پژوهشی به‌منظور بهبود گردش کار در اتاق‌های عمل و جلوگیری از وقفه در جراحی‌ها، به ارائه یک سیستم استنتاج فازی بر مبنای FMEA فازی اقدام کردند.

نکته شایان توجه در بررسی پیشینه نظری آن است که در تمام این تحقیقات، سیستم استنتاج فازی فقط بر اساس سه متغیر ورودی (معیارهای سه‌گانه تشخیص، احتمال وقوع و شدت) طراحی شده است؛ در حالی که برای ارزیابی صحیح هر یک از این معیارها، گاهی باید شاخص‌های فرعی بیشتری را اندازه‌گیری کرد. برای مثال، معیار «شدت شکست» می‌تواند با شاخص‌های فرعی مانند آسیب جسمی، وقفه‌های زمانی و زیان اقتصادی ارزیابی شود. با وجود این، در هیچ‌یک از سیستم‌های استنتاج فازی در ارزیابی ریسک شکست به این مهم پرداخته نشده است. در واقع، از آنجا که با افزایش تعداد ورودی‌ها در مدل‌سازی سیستم‌های فازی، تعداد قواعد بسیار زیاد و تعریف آن نیز به شدت پیچیده خواهد شد، تحقیقات پیشین برای پرهیز از این محدودیت، تنها به سه معیار اصلی به عنوان ورودی‌های سیستم توجه داشته‌اند و این ساده‌سازی باعث کاهش دقت ورودی‌های مدل و در نتیجه کاهش انطباق مقدار برآوردی RPN با مقدار واقعی خواهد شد. تمایز ویژه این مطالعه با مطالعات اخیر، طراحی مدل استنتاج فازی برای ارزیابی معیارهای اصلی شکست بر اساس شاخص‌های فرعی است. به همین دلیل، برای هر یک از معیارهای اصلی شکست، سیستم استنتاج جداگانه‌ای طراحی گردید و شاخص‌های فرعی هر یک از معیارها، ورودی‌های این سیستم در نظر گرفته شد. در همین راستا، پس از طراحی سیستم استنتاج چند مرحله‌ای، این سیستم برای ارزیابی ریسک شکست تجهیزات پزشکی اتاق عمل یکی از بیمارستان‌های شهر تهران به کار گرفته شد.

### تجزیه و تحلیل حالت‌های شکست و آثار آن (FMEA)

FMEA علاوه بر اینکه از مهم‌ترین رویکردهای شناسایی و تجزیه و تحلیل خطرها برای بهبود عملکرد سیستم‌هاست، یکی از رویکردهای شناخته شده مدیریت کیفیت به‌شمار می‌رود که برای بهبود مستمر در فرایند طراحی یا تولید محصول و ارائه خدمات استفاده می‌شود. این تکنیک بر اساس تجزیه و تحلیل کیفی، سیستم یا زیرسیستم‌ها را برای شناسایی شکست‌های احتمالی

بررسی کرده و تلاش می‌کند که آثار شکست احتمالی را روی سایر بخش‌های سیستم ارزیابی کند (هوچن لیو، لانگ لیو، نان لیو و لینگ مائو، ۲۰۱۲). در این روش برای هر حالت شکست، عدد اولویت ریسک (RPN) که نشان‌دهنده سطح خطرات مرتبط با شکست بالقوه است، محاسبه می‌شود. این اعداد به‌طور کلی از تجربه گذشته و قضاوت خبرگان و متخصصان این حوزه به‌دست می‌آیند و سه معیار تشخیص، احتمال وقوع و شدت شکست را در نظر می‌گیرند (کمر و کمر، ۲۰۱۳).

### **سیستم استنتاج فازی**

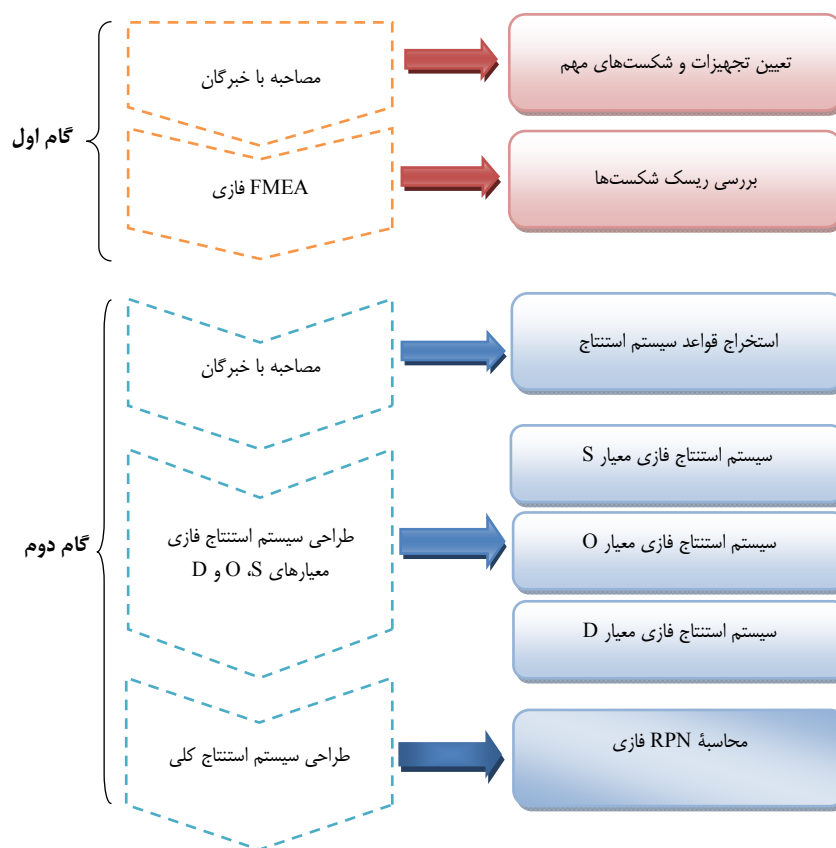
سیستم استنتاج فازی دربرگیرنده مجموعه‌ای از توابع عضویت فازی به‌عنوان ورودی یا خروجی و مجموعه‌ای از قوانین فازی به‌عنوان موتور قواعد است. ورودی شامل برخی مفاهیم لفظی مبهم و نادقیق برای یک رویداد خاص است و خروجی یک مجموعه فازی یا مجموعه دقیقی از ویژگی‌های خاص را دربرمی‌گیرد (مولوی، اسماعیلیان و انصاری، ۱۳۹۲). بر این اساس مجموعه‌های ورودی و خروجی همان متغیرهای ورودی و خروجی پژوهش هستند که محقق به دنبال کشف روابط میان آنهاست (افندیگیل، ۲۰۰۹). در این رابطه، یک سیستم استنتاج فازی از قواعد فازی «اگر- آنگاه» استفاده می‌کند که به کمک دانش افراد خبره یا دانش حوزه مورد بررسی و ترکیب آنها در چارچوب مشخصی به‌دست می‌آید. بخش دیگر سیستم استنتاج فازی، موتور استنتاج فازی است که در آن استنتاج مجموعه قواعد فازی بر اساس معیارها و ویژگی‌های خاص صورت می‌گیرد (صادقی‌مقدم، صفری و احمدی، ۱۳۹۴).

دو روش پرکاربرد در سیستم استنتاج فازی، روش ممدانی و اصیلیان و روش سوگونو است. این دو روش در بسیاری از موارد به یکدیگر شبیه‌اند، اما مهم‌ترین تفاوت این دو روش در خروجی آنهاست؛ به طوری که در سیستم ممدانی خروجی به صورت یک مجموعه فازی است که باید دی‌فازی شود، ولی در سیستم سوگونو خروجی به صورت خطی یا ثابت است. در این میان روش استنتاج ممدانی با کاهش محاسبات، کارایی فرایند غیرفازی‌سازی را افزایش داده و رایج‌ترین متدولوژی فازی به‌شمار می‌رود (راس، ۲۰۰۹).

### **روش‌شناسی پژوهش**

تحقیق حاضر از نظر هدف، کاربردی و از حیث روش و چگونگی جمع‌آوری داده‌ها توصیفی - پیمایشی است. داده‌های اصلی تحقیق با روش میدانی و از طریق مصاحبه با خبرگان، یعنی کارشناسان مهندسی پزشکی و تکنسین اتاق عمل جمع‌آوری شده است. ابتدا از طریق مصاحبه

اختصاصی با ۴ نفر از کارشناسان مهندسی پزشکی و تکنسین اتاق عمل که بیش از ۲۰ سال تجربه فنی و تخصصی در این حوزه داشتند، تعدادی از دستگاه‌های بخش اتاق عمل بیمارستان فهرست شد. سپس با مرور ادبیات و نظرسنجی از خبرگان، فهرستی از شکست‌های بالقوه در هریک از دستگاه‌های نام برده به دست آمد. پس از بررسی مجدد و عینی نمودن این شکست‌ها با توجه به محیط مطالعه و حذف شکست‌هایی که در عمل امکان وقوع آن وجود نداشت، حالات بالقوه خرابی تجهیزات نهایی شد. در ادامه از این اطلاعات به منظور تشکیل FMEA فازی و مدل سیستم استنتاج فازی استفاده شد. برای طراحی سیستم استنتاج فازی از نسخه R2013b نرم‌افزار متلب استفاده شده است. شکل ۱ مراحل کلی تحقیق را به نمایش گذاشته است.

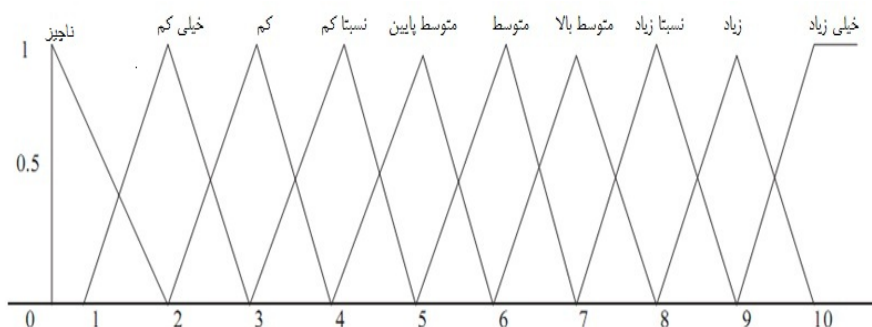


شکل ۱. فرایند کلی تحقیق حاضر

این تحقیق در دو گام اصلی به شرح زیر اجرا شده است.

### گام اول: شناسایی توابع عضویت معیارهای FMEA فازی

همان‌طور که قبلاً بیان شد، با وجود سهولت محاسبه RPN در رویکرد قطعی، انتقادهای جدی نیز به آن وارد است. به‌منظور رفع ضعف‌های FMEA کلاسیک، در این پژوهش از رویکرد فازی برای ارزیابی RPN استفاده شده است که در آن عدم قطعیت در نظر خبرگان مورد توجه قرار گرفته است و میزان ریسک شکست تجهیزات نیز به‌صورت فازی ارزیابی و تحلیل می‌شود. نمودار تابع عضویت متغیرهای کلامی مربوط به عدد اولویت ریسک (RPN) در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲. توابع عضویت مجموعه فازی مربوط به RPN

منبع: کانامول و ناتنا (۲۰۱۶) و کمرو و کمرو (۲۰۱۳)

برای ارزیابی دقیق‌تر سه معیار اصلی تشخیص، وقوع و شدت، از هفت شاخص فرعی به شرح زیر استفاده شد.

۱. **تشخیص:** این معیار به احتمال تشخیص خرابی‌های بالقوه قبل از وقوع اشاره دارد که شامل دو شاخص فرعی احتمال عدم تشخیص<sup>۱</sup> و روش تشخیص شکست<sup>۲</sup> است:
- احتمال عدم تشخیص ( $D_1$ ): این شاخص میزان تشخیص خرابی دستگاه‌ها را مطابق عبارات کلامی جدول ۱ نشان می‌دهد. شایان ذکر است که رتبه‌بندی معیارها با مقیاس معکوس انجام می‌گیرد؛ زیرا احتمال عدم تشخیص بررسی می‌شود.

1. Probability of non-detection  
2. Method of failure detection



جدول ۱. رتبه‌بندی فازی برای ارزیابی تشخیص خرابی

ارزیابی	توضیح	اعداد فازی
ناچیز (R)	شکست مشهود است.	(۰، ۰، ۱/۵)
کم (L)	شکست نامشهود است و با دستگاه کمکی یا بازرسی دوره‌ای شناسایی می‌شود.	(۱، ۲/۵، ۴)
متوسط (M)	شکست نامشهود است و فقط با دستگاه‌های کمکی شناسایی می‌شود.	(۳/۵، ۵، ۶/۵)
زیاد (H)	شکست نامشهود است و فقط با بازرسی دوره‌ای شناسایی می‌شود.	(۶، ۷/۵، ۹)
خیلی زیاد (VH)	شکست نامشهود است و امکان تشخیص وجود ندارد.	(۸/۵، ۱۰، ۱۰)

منبع: جمشیدی و همکاران (۲۰۱۵)؛ باتبایار، تاکاس و کوزلووسکی (۲۰۱۶)

- روش تشخیص: این شاخص وجود رویه مشخص برای فرایند بازرسی تجهیزات را اندازه می‌گیرد. در جدول ۲ عبارات کلامی و اعداد فازی برای ارزیابی این شاخص آمده است.

جدول ۲. درجه‌بندی فازی برای تشخیص شکست

ارزیابی	توضیح	اعداد فازی
ناچیز (R)	دستگاه صددرصد بازرسی شده و فرایند بازرسی مشخص است.	(۰، ۰، ۱/۵)
کم (L)	بازرسی کامل وجود دارد، اما رویه آن نامشخص است.	(۱، ۲/۵، ۴)
متوسط (M)	بازرسی دستی در برخی از اجزای دستگاه انجام می‌شود.	(۳/۵، ۵، ۶/۵)
زیاد (H)	هیچ فرایند بازرسی وجود ندارد و امکان وقوع خرابی وجود دارد.	(۶، ۷/۵، ۹)
خیلی زیاد (VH)	هیچ روند بازرسی شناخته‌شده‌ای برای تشخیص شکست دستگاه وجود ندارد و شکست به سختی تشخیص داده می‌شود.	(۸/۵، ۱۰، ۱۰)

منبع: جمشیدی و همکاران (۲۰۱۵)؛ باتبایار و همکاران (۲۰۱۶)

- ۲. وقوع:** تعداد شکست یا احتمال وقوع، تعداد شکست‌ها و ریسک‌های بالقوه در هر دستگاه را برآورد می‌کند. برای محاسبه دقیق‌تر احتمال وقوع شکست، دو شاخص فرعی تکرار پذیری<sup>۱</sup> ( $O_1$ ) و مشهود بودن ( $O_2$ )<sup>۲</sup> تعریف شده است (جدول ۳).
- تکرار پذیری ( $O_1$ ): تکرارپذیری به معنای وقوع خرابی مشابه در یک دوره زمانی برای یک دستگاه یا یک قسمتی از دستگاه است.

1. Repeatability  
2. Visibility

- مشهود بودن ( $O_2$ ): این شاخص نشان می‌دهد که آیا خرابی دستگاه برای متخصصان تعمیرات و نگهداری قابل مشاهده هست یا خیر.

جدول ۳. درجه‌بندی فازی برای شاخص‌های فرعی وقوع

اعداد فازی	$(O_2)$	$(O_1)$	ارزیابی
	مشهود بودن	تکرار پذیری	
(۸/۵، ۱۰، ۱۰)	به هیچ وجه رؤیت نمی‌شود	شکست‌های مشابه در بازه ۳ ماه	خیلی زیاد (VH)
(۶، ۷/۵، ۹)	قابل مشاهده با استفاده از دستگاه	شکست‌های مشابه در بازه ۳ تا ۶ ماه	زیاد (H)
(۳/۵، ۵، ۶/۵)	قابل مشاهده بین فواصل دو بازرسی	شکست‌های مشابه در بازه ۶ تا ۲۴ ماه	متوسط (M)
(۱، ۲/۵، ۴)	قابل مشاهده هنگام بازرسی	شکست‌های مشابه در بازه ۲ تا ۱۰ سال	کم (L)
(۰، ۰، ۱/۵)	قابل مشاهده قبل از بازرسی	عدم وقوع بیش از ۱۰ سال	ناچیز (R)

منبع: جمشیدی و همکاران (۲۰۱۵)؛ باتیایار و همکاران (۲۰۱۶)

۳. **شدت خرابی (S)**: تأثیرات خرابی دستگاه‌ها و تجهیزات پزشکی مراکز بهداشت و درمان به سه دسته تقسیم می‌شود: تأثیر بر ایمنی بیمار ( $S_1$ )، میانگین زمان برای تعمیر (MTTR) ( $S_2$ ) و ضرر اقتصادی ( $S_3$ ). برای در نظر گرفتن کل تبعاتی که از هر حالت شکست نشئت می‌گیرد، باید تمام تأثیرات بالقوه خرابی دستگاه ارزیابی شود.

- ایمنی بیمار ( $S_1$ ): مطابق قانون استاندارد ایمنی بیمار در کمیسیون مشترک اعتبار بخشی سازمان‌های بهداشت و درمان (JCAHO)، مدیران و سرپرستان واحدهای درمانی باید از اجرای برنامه‌های فعال برای کاهش شکست‌های بهداشتی و درمانی و ریسک‌های مخاطره‌انگیز برای سلامت بیمار اطمینان حاصل نمایند. به دلیل بحرانی بودن و اهمیت ایمنی بیمار، این شاخص اولین شاخص فرعی در معیار شدت خرابی شناخته شده است که سطوح مختلف آن در جدول ۴ مشاهده می‌شود.

- میانگین زمان برای تعمیر ( $S_2$ ): این شاخص یکی از مقیاس‌های فنی متداول در زمینه تعمیرات و نگهداری تجهیزات و قطعات به‌شمار می‌رود که بیان‌کننده متوسط زمان مورد نیاز برای انجام تعمیر و نگهداری اصلاحی در یک دستگاه یا سیستم است.

1. Patient safety
2. Mean time to repair
3. Economic loss

- زیان اقتصادی ( $S_3$ ): در این مقاله زیان اقتصادی در سازمان‌های بهداشت و درمان برابر است با مجموع هزینه تعمیر و نگهداری ( $MC$ )<sup>۱</sup> و اتلاف زمانی مربوط به تأخیر در تعمیر ( $DL$ )<sup>۲</sup>. هزینه تعمیرات و نگهداری خرابی تجهیزات و قطعات پزشکی، شامل هزینه‌های ثابت (نظیر هزینه قطعات) و هزینه‌های متغیر (هزینه متخصصان تعمیر و نگهداری) است، بنابراین هزینه تجهیزات و قطعات بهداشتی و پزشکی مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{زمان وقفه یا تعمیر دستگاه} \times \text{هزینه‌های متغیر} + \text{هزینه‌های ثابت} = \text{هزینه تعمیرات و نگهداری}$$

خسارت ناشی از تأخیر از حاصل ضرب زمان تعمیر در هزینه فرصت زمان تعمیر (زیان هر ساعت تأخیر) به دست می‌آید.

$$\text{زیان هر ساعت تأخیر} \times \text{زمان وقفه یا تعمیر دستگاه} = \text{خسارت ناشی از تأخیر}$$

جدول ۴. درجه‌بندی فازی شاخص‌های فرعی شدت خرابی

سطح	$S_1$	$S_2$	$S_3$ (میلیون ریال)	اعداد فازی
خیلی زیاد (VH)	مرگ	عدم امکان تعمیر	$200 > \text{زیان}$	(۸/۵، ۱۰، ۱۰)
زیاد (H)	آسیب عمیق طولانی‌مدت	تعمیر بیش از ۴ روز	$100 < \text{زیان} < 200$	(۶، ۷/۵، ۹)
متوسط (M)	آسیب متوسط	تعمیر بین ۱ تا ۴ روز	$50 < \text{زیان} < 100$	(۳/۵، ۵، ۶/۵)
کم (L)	آسیب یا بیماری جزئی	تعمیر ۱ ساعت تا ۱ روز	$10 < \text{زیان} < 50$	(۱، ۲/۵، ۴)
ناچیز (R)	بدون تأثیر	تعمیر کمتر از ۱ ساعت	$0 < \text{زیان} < 10$	(۰، ۱/۵)

منبع: جمشیدی و همکاران (۲۰۱۵)؛ باتبایار و همکاران (۲۰۱۶)

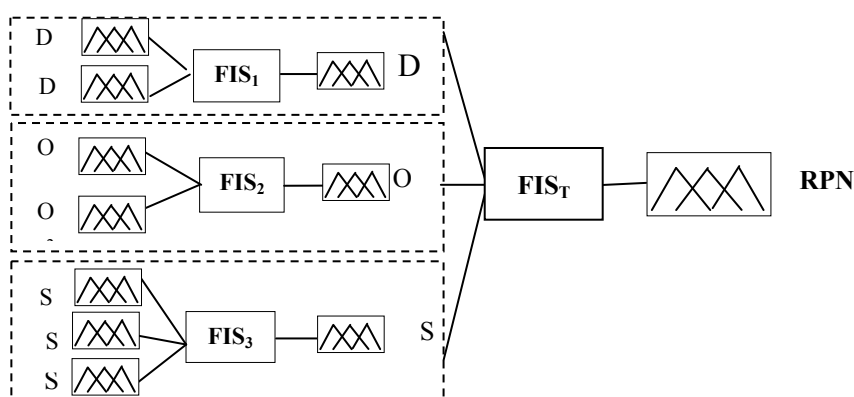
در این مرحله، وضعیت نه حالت شکست تجهیزات اتاق عمل از لحاظ هفت شاخص فرعی مربوط به معیارهای اصلی FMEA با توجه به عبارات کلامی توسط خبرگان تحقیق ارزیابی شد. درجه ریسک این شکست‌ها به صورت عبارات کلامی مطابق جدول‌های ۱ تا ۴ است.

### گام دوم: طراحی سیستم استنتاج فازی

در این پژوهش، سیستم استنتاج فازی چند مرحله‌ای طراحی شده است تا جنبه‌های مختلف خرابی تجهیزات به طور کامل مد نظر قرار گیرد و درجه ریسک هر یک از شکست‌ها نیز به درستی برآورد شود. برای طراحی سیستم استنتاج فازی پژوهش، همان‌طور که در شکل ۳ آمده است، سه زیر سیستم استنتاج فازی به منظور ارزیابی سه معیار اصلی شدت، وقوع و تشخیص

1. Maintenance Cost
2. Delaying Treatment

خرابی و یک سیستم استنتاج فازی نیز برای ارزیابی اولویت ریسک شکست طراحی شد. در ادامه، به کمک خبرگان قواعد فازی هر یک از سیستم‌ها طراحی گردید. این قواعد فازی با توجه به وضعیت مختلف متغیرها، به صورت عبارات کلامی در مقیاس پنج تایی از سطح «ناچیز» تا «بسیار زیاد» تعریف شده است (جدول‌های ۱ تا ۴).



شکل ۳. نمای کلی سیستم استنتاج چند مرحله ای پژوهش

به طور کلی می‌توان مراحل مختلف طراحی مدل استنتاج فازی را قالب هفت گام تعریف کرد: 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؛ ۵. ارزیابی قوانین در پایگاه قواعد فازی (استلزام فازی)؛ ۶. ترکیب نتایج به دست آمده از هر قاعده (استنتاج فازی)؛ ۷. تبدیل داده‌های خروجی به مقادیر غیرفازی. روش‌های متعددی برای نافازی‌سازی خروجی‌ها در سیستم استنتاج فازی وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به این موارد اشاره کرد: نصف ماکزیمم<sup>۱</sup>، نیمساز<sup>۲</sup>، مرکز ثقل<sup>۳</sup>، میانگین مقدار ماکزیمم مجموعه خروجی<sup>۴</sup>، بزرگ‌ترین ماکزیمم (LOM)<sup>۵</sup>، کوچک‌ترین ماکزیمم (SOM)<sup>۶</sup> (راس، ۲۰۰۹). از متداول‌ترین روش‌های غیرفازی‌سازی، روش مرکز ثقل است که در این پژوهش نیز استفاده شده است.

1. Middle of maximum
2. Bisector
3. Centroid
4. Mean of Maximum
5. Largest of Maximum
6. Smallest of Maximum

پس از طراحی سیستم استنتاج فازی، نه شکست در تجهیزات حیاتی و پرکاربرد اتاق عمل با توجه به هفت شاخص مربوط به معیارهای اصلی شدت، وقوع و تشخیص، توسط خبرگان پژوهش (بر اساس عبارات کلامی) ارزیابی گردید و نظر خبرگان پس از تلفیق، وارد سیستم‌های استنتاج فازی مربوط به هر یک از معیارهای اصلی شد و خروجی هر یک از سیستم‌های استنتاج فازی به عنوان ورودی سیستم استنتاج کلی (FIS<sub>T</sub>) برای ارزیابی ریسک شکست، مد نظر قرار گرفت.

### یافته‌های پژوهش

ابتدا با بهره‌مندی از نظر خبرگان متخصص، چهار مورد از تجهیزات حیاتی و پرکاربرد در بخش اتاق عمل بیمارستان مشخص و شکست‌های مربوط به هر یک از این تجهیزات فهرست شدند که در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵. شکست‌های مربوط به چهار مورد از تجهیزات پزشکی

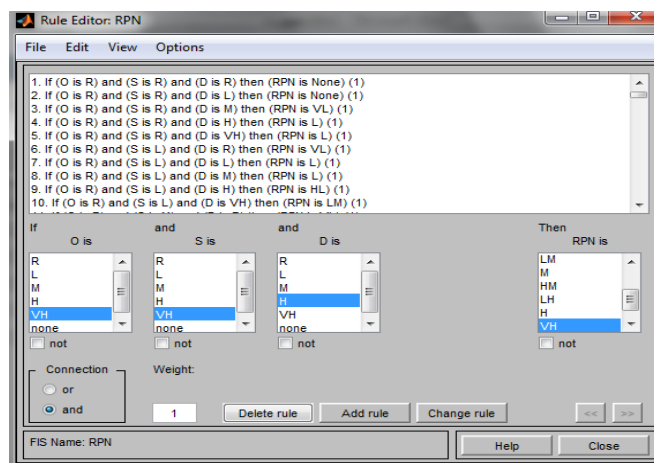
ردیف	نام تجهیزات	نوع شکست
۱	اینسافلاتور	۱. اشکال در کنترل و تنظیمات فشار CO <sub>2</sub> ۲. سوراخی رابط دستگاه
۲	الکتروکوتر	۳. اشکال در دکمه‌های تنظیم درجه ۴. اتصال در سیم دستگاه
۳	پرفیوژن	۵. اشکال در سیستم تنظیم تزریق دارو ۶. خرابی دکمه‌های سیستم
۴	دفیبریلاتور	۷. خرابی دکمه‌های تنظیم درجه شوک ۸. اشکال در الکترودها ۹. خرابی باتری‌های نیکل - کادمیوم

در مرحله طراحی سیستم، به کمک خبرگان پژوهش برای هر یک از زیر سیستم‌ها و سیستم کلی، قواعد فازی تعریف شد. برای ساخت سیستم استنتاج در هر مرحله، تعداد قواعد بر اساس تعداد توابع عضویت و تعداد ورودی‌های هر سیستم تعیین می‌شود. در جدول ۶ تعداد قواعد تعریف شده در سیستم‌های استنتاج فازی مشخص شده است.

جدول ۶. تعداد قواعد فازی در سیستم استنتاج فازی

تعداد قواعد در مدل استنتاج فازی		زیرمعیار	معیارهای اصلی	
سیستم کلی	زیرسیستم‌ها			
FIS (۵×۵×۵=۱۲۵)	FIS <sub>۱</sub> (۵×۵=۲۵)	احتمال عدم تشخیص (D <sub>۱</sub> )	تشخیص (D)	
		روش تشخیص شکست (D <sub>۱</sub> )		
	FIS <sub>۲</sub> (۵×۵=۲۵)	تکرار پذیری (O <sub>۱</sub> )	احتمال وقوع (O)	
		مشهود بودن (O <sub>۲</sub> )		
	FIS <sub>۳</sub> (۵×۵×۵=۱۲۵)	FIS <sub>۳</sub> (۵×۵×۵=۱۲۵)	تأثیر بر ایمنی بیمار (S <sub>۱</sub> )	شدت شکست (S)
			میانگین زمان برای تعمیر (S <sub>۲</sub> )	
ضرر اقتصادی (S <sub>۳</sub> )				

در شکل ۴ تعدادی از قواعد تعریف شده مربوط به سیستم نهایی استنتاج فازی (ارزیابی RPN) در نرم‌افزار متلب نشان داده شده است.



شکل ۴. نمونه‌ای از قواعد تعریف شده در نرم‌افزار متلب

در ادامه، برای ارزیابی ریسک شکست تجهیزات اتاق عمل، هفت شاخص فرعی مد نظر با توجه به مقیاس‌های مندرج در جدول‌های ۱ تا ۴ توسط خبرگان ارزیابی شدند که نتایج آن را در جدول‌های ۷ و ۸ مشاهده می‌کنید.

جدول ۷. ارزیابی معیارهای هر یک از شکست‌ها توسط خبرگان

تجهیزات	شکست	خبره	تشخیص (D)		وقوع (O)		شدت (S)		
			D <sub>۲</sub>	D <sub>۱</sub>	O <sub>۲</sub>	O <sub>۱</sub>	S <sub>۳</sub>	S <sub>۲</sub>	S <sub>۱</sub>
اینسافلاتور	۱. اشکال در کنترل و تنظیمات فشار CO <sub>۲</sub>	۱	H	L	M	L	H	H	M
		۲	M	L	M	L	H	H	M
		۳	H	M	L	R	H	VH	L
		۴	M	L	M	L	M	H	M
	۲. سوراخی رابط دستگاه	۱	R	R	H	L	L	L	M
		۲	R	R	H	R	L	L	H
		۳	R	L	H	R	L	L	M
		۴	R	R	H	L	L	R	H
الکتروکوتر	۱. اشکال در دکمه‌های تنظیم درجه	۱	R	R	R	R	R	H	L
		۲	L	R	R	R	R	L	H
		۳	R	L	R	R	R	M	L
		۴	R	R	H	R	R	H	R
	۲. اتصال در سیم دستگاه	۱	L	L	R	R	R	M	H
		۲	R	L	R	R	R	H	M
		۳	R	R	R	R	R	M	M
		۴	R	L	R	R	R	M	M
پرفیوژن	۱. اشکال در سیستم تنظیم تزریق دارو	۱	M	M	M	M	M	H	H
		۲	R	L	M	M	R	H	H
		۳	R	M	M	M	R	M	H
		۴	M	L	M	L	M	H	VH
	۲. خرابی دکمه‌های سیستم	۱	R	R	M	M	L	L	H
		۲	L	L	M	M	L	L	H
		۳	R	L	M	M	L	VH	H
		۴	R	R	M	M	L	VH	H
دفیبریلاتور	۱. خرابی دکمه‌های تنظیم درجه شوک	۱	M	M	M	M	M	H	M
		۲	L	H	M	M	L	M	M
		۳	M	L	M	M	L	M	M
		۴	M	M	H	H	M	H	M
	۲. اشکال در الکترودها	۱	R	R	M	M	H	H	H
		۲	L	R	M	L	M	VH	H
		۳	R	R	M	M	L	H	H
		۴	R	R	M	M	H	VH	VH
	۳. خرابی باتری‌های نیکل - کادمیوم	۱	M	M	M	M	L	L	L
		۲	M	M	M	M	M	L	L
		۳	L	L	M	H	L	M	L
		۴	M	M	L	L	M	H	L

جدول ۸. تلفیق نظر خبرگان درباره وضعیت هر یک از شکست‌ها

تجهیزات	شکست	تشخیص (D)		وقوع (O)		شدت (S)		
		D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	O <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
انسفلاتور	۱. اشکال در کنترل و تنظیمات فشار CO <sub>2</sub>	(۱/۶۲۵، ۲/۱۲، ۳/۶۳)	(۳/۷۵، ۴/۲۵، ۷/۷۵)	(۰/۷۵، ۱/۱۸۸، ۳/۳۸)	(۲/۱۸۸، ۳/۳۸، ۵/۱۸۸)	(۶/۶۳، ۸/۱۳، ۹/۲۵)	(۵/۲۸، ۶/۱۸، ۸/۲۸)	(۳/۵، ۵/۶/۵)
	۲. سوراخی رابط دستگاه	(۰/۲۵، ۰/۶۳، ۲/۱۳)	(۰۰، ۱/۵)	(۰/۵، ۱/۲۵، ۲/۷۵)	(۱/۵، ۷/۵، ۹)	(۰/۷۵، ۱/۱۸، ۲/۳۸)	(۱، ۲/۵، ۴)	(۴/۷۵، ۶/۲۵، ۷/۷۵)
الکتروکوتر	۱. اشکال در دکمه‌های تنظیم درجه	(۰۰، ۱/۵)	(۰/۵، ۱/۲۵، ۲/۷۵)	(۰/۵، ۱/۲۵، ۲/۷۵)	(۷/۱۸۸، ۹/۲۷۵، ۹/۷۵)	(۰/۲۵، ۰/۶۳، ۲/۱۳)	(۵/۲۸، ۶/۱۸، ۸/۲۸)	(۰/۷۵، ۱/۱۸، ۳/۳۸)
	۲. اتصال در سیم دستگاه	(۰/۵، ۱/۲۵، ۲/۷۵)	(۰/۲۵، ۰/۶۳، ۲/۱۳)	(۰/۲۵، ۰/۶۳، ۲/۱۳)	(۵/۲۸، ۶/۱۸، ۸/۲۸)	(۰۰، ۱/۵)	(۴/۷۵، ۶/۲۵، ۷/۷۵)	(۴/۱۳، ۵/۶۳، ۷/۱۳)
پرفورژن	۱. اشکال در سیستم تنظیم تزریق دارو	(۲/۱۸۸، ۳/۳۷۵، ۵/۱۸۸)	(۰/۵، ۱/۲۵، ۲/۷۵)	(۲/۱۸۸، ۳/۳۷۵، ۵/۱۸۸)	(۳/۵، ۵/۶/۵)	(۵/۲۸، ۶/۱۸، ۸/۲۸)	(۵/۲۸، ۶/۱۸، ۸/۲۸)	(۶/۶۳، ۸/۱۳، ۹/۲۵)
	۲. خرابی دکمه‌های سیستم	(۰/۵، ۱/۲۵، ۲/۷۵)	(۰۰، ۱/۵)	(۳/۵، ۵/۶/۵)	(۴/۷۵، ۶/۲۵، ۷/۷۵)	(۱، ۲/۵، ۴)	(۷/۲۵، ۸/۱۷۵، ۹/۵)	(۵/۳۸، ۶/۱۸، ۸/۲۸)
دفینر لایونر	۱. خرابی دکمه‌های تنظیم درجه شوک	(۴/۱۳، ۵/۶۳، ۷/۱۳)	(۱/۶۳، ۲/۱۳، ۳/۶۳)	(۴/۱۳، ۵/۶۳، ۷/۱۳)	(۶، ۷/۵، ۹)	(۵/۲۸، ۶/۱۸، ۸/۲۸)	(۲/۱۸۸، ۳/۳۸، ۵/۱۸۸)	(۳/۵، ۵/۶/۵)
	۲. اشکال در الکترودها	(۰۰، ۱/۵)	(۰/۲۵، ۰/۶۳، ۲/۱۳)	(۳/۵، ۵/۶/۵)	(۲/۲۵، ۳/۷۵، ۵/۱۲۵)	(۶/۶۳، ۸/۱۳، ۹/۲۵)	(۶/۶۳، ۸/۱۳، ۹/۲۵)	(۷/۲۵، ۸/۱۷۵، ۹/۵)
	۳. خرابی باتری‌های نیکل - کادمیوم	(۲/۱۸۸، ۳/۳۷۵، ۵/۱۸۸)	(۳/۵، ۵/۶/۵)	(۱/۶۳، ۲/۱۳، ۳/۶۳)	(۶/۶۳، ۸/۱۳، ۹/۲۵)	(۴/۱۳، ۵/۶۳، ۷/۱۳)	(۴/۱۳، ۵/۶۳، ۷/۱۳)	(۱، ۲/۵، ۴)



نظر خبرگان پس از فازی‌زدایی، وارد سیستم‌های استنتاج فرعی (مربوط به معیارهای اصلی شدت، وقوع و تشخیص) شدند، سپس خروجی این سیستم‌ها به‌عنوان ورودی سیستم استنتاج کلی (RPN) در نظر گرفته شد. در جدول ۹، مقادیر خروجی سیستم استنتاج کلی (مقدار RPN)، اولویت شکست و عبارات کلامی متناظر با RPN ارائه شده است.

جدول ۹. مقدار RPN به‌دست‌آمده از مدل استنتاج فازی تحقیق

تجهیزات	نوع شکست	RPN	اولویت	عبارت کلامی ریسک (درجه عضویت)
اینسافلاتور	۱. اشکال در کنترل و تنظیمات فشار CO <sub>2</sub>	۸/۲	۱	ریسک نسبتاً زیاد (۰/۸) - ریسک زیاد (۰/۲)
	۲. سوراخی رابط دستگاه	۶/۲	۲	ریسک متوسط (۰/۸) - ریسک متوسط بالا (۰/۲)
الکتروکوتر	۳. اشکال در دکمه‌های تنظیم درجه	۶	۳	ریسک متوسط (۱)
	۴. اتصال در سیم دستگاه	۴/۶	۵	ریسک متوسط پایین (۰/۶) - ریسک نسبتاً کم (۰/۴)
پرفیوژن	۵. اشکال در سیستم تنظیم تزریق دارو	۴	۶	ریسک نسبتاً کم (۱)
	۶. خرابی دکمه‌های سیستم	۳/۷	۸	ریسک نسبتاً کم (۰/۷) - ریسک کم (۰/۳)
دفیبریلاتور	۷. خرابی دکمه‌های تنظیم درجه شوک	۳/۹	۷	ریسک نسبتاً کم (۰/۹) - ریسک کم (۰/۱)
	۸. اشکال در الکترودها	۵/۵	۴	ریسک متوسط پایین و متوسط (۰/۵)
	۹. خرابی باتری‌های نیکل - کادمیوم	۲/۸	۹	ریسک کم (۰/۸) - ریسک خیلی کم (۰/۲)

نکته شایان توجه این مطالعه آن است که ریسک شکست هر یک از تجهیزات به‌صورت کلامی نیز توصیف شده است (جدول ۹). برای مثال شکست «سوراخی رابط دستگاه» از ریسک «متوسط» با درجه عضویت ۰/۸ و ریسک «متوسط بالا» با درجه عضویت ۰/۲ برخوردار است، که این می‌تواند وضعیت روشنی از میزان ریسک شکست تجهیزات برای مدیران جهت تدوین استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات ارائه کند.

### نتیجه‌گیری

افزایش هزینه‌های جایگزینی و نگهداشت تجهیزات پزشکی و همچنین آسیب‌های جانی و مالی ناشی از شکست در آنها، به‌کارگیری مدل‌های سیستماتیک برای ارزیابی عملکرد صحیح این تجهیزات را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. از این رو تحقیق حاضر بر اساس رویکرد کیفی FMEA به طراحی مدل استنتاج فازی چند مرحله‌ای برای ارزیابی شکست در تجهیزات پزشکی اتناق عمل پرداخته است. از آنجا که در این تحقیق برای بررسی حالات شکست تجهیزات پزشکی با عوامل غیرقطعی و مبهم روبه‌رو بودیم، از منطق فازی برای ارائه مدل ارزیابی و اولویت‌بندی شکست‌ها استفاده کردیم. ایده استفاده از منطق فازی در رویکرد FMEA و تلفیق آن با سیستم استنتاج فازی در پژوهش حاضر مزیت‌های زیر را دربردارد: ۱. تمام وضعیت‌های محتمل در شکست (قواعد) به‌طور همزمان بررسی شدند؛ ۲. خبرگان تحقیق شامل مهندسان پزشکی و

تکنسین‌های اتاق عمل برای نوشتن قواعد حتی قواعد متضاد، آزادی عمل داشتند؛ ۳. روش استنتاج فازی این قابلیت را ایجاد کرد که ضمن ساختن قواعد منطقی بر اساس نظرهای مبهم و غیردقیق خبرگان، از تلفیق این روش با رویکرد کیفی FMEA، کاربرد این رویکرد تسهیل شود؛ ۴. سیستم استنتاج فازی این امکان را فراهم کرد که ترکیب‌های مختلفی از معیارهای FMEA برای مدل‌سازی در نظر گرفته شود؛ ۵. استفاده از عبارات کلامی در سیستم استنتاج فازی این امکان را برای خبرگان فراهم کرد که ارزش‌های معناداری برای هر یک از معیارهای شکست در نظر بگیرند و این کار به بهبود کارایی رویکرد FMEA کمک می‌کند.

در مقایسه پژوهش‌های پیشین مانند کانامول و ناتنا (۲۰۱۶)؛ جی، تای و لیم (۲۰۱۵)؛ کمرو و کمرو (۲۰۱۳)؛ تای و لی (۲۰۱۳)؛ خشا، سپهری، خطیبی و سروش (۱۳۹۲)؛ جونگ، ویندهو، آراویندرج، نارایانان و یوگشواران (۲۰۱۲) با مطالعه حاضر، باید گفت در تمام این تحقیقات برای ارزیابی ریسک شکست با استفاده از سیستم استنتاج فازی، تنها به سه معیار اصلی تشخیص، احتمال وقوع و شدت شکست، توجه شده و شاخص‌های فرعی هر یک از این معیارها که شناخت دقیقی از مقدار آنها ارائه می‌دهد، نادیده گرفته شده است. در نتیجه این ساده‌سازی، دقت ورودی‌های مدل (معیارهای S, O, D) و مقدار برآوردشده RPN فازی کاهش می‌یابد. از طرفی توجه همزمان به تمام شاخص‌های فرعی در یک سیستم استنتاج فازی، موجب افزایش تعداد قواعد و پیچیدگی سیستم در تحلیل ورودی‌ها می‌شود که این امر نیز سبب کاهش دقت سیستم خواهد شد. از این رو مطالعه حاضر با در نظر گرفتن محدودیت یاد شده، سعی در افزایش دقت سیستم استنتاج فازی در ارزیابی ریسک شکست‌ها داشته است. در این راستا سه سیستم استنتاج فازی فرعی برای هر یک از معیارهای اصلی FMEA و همچنین یک سیستم استنتاج کلی برای ارزیابی ریسک شکست تجهیزات طراحی شد.

نتایج سیستم استنتاج فازی کلی (RPN) حاکی از آن است که «اشکال در کنترل و تنظیمات فشار CO<sub>2</sub>» در دستگاه اینسافلاتور با مقدار درجه ریسک ۸/۲، دارای بیشترین ریسک است و نسبت به سایر دستگاه‌ها در اولویت قرار دارد. با توجه به ریسک بالای شکست در این دستگاه، بخش اتاق عمل بیمارستان باید به نگهداشت و ارزیابی عملکرد درست این دستگاه توجه ویژه‌ای داشته باشد و استراتژی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه‌ای متناسب با حساسیت ویژه این دستگاه تدوین کند. همچنین نتایج سیستم استنتاج کلی در سایر تجهیزات نشان می‌دهد «اشکال در دکمه‌های تنظیم درجه» در دستگاه الکتروکوتر، «اشکال در سیستم تنظیم تزریق دارو» در دستگاه پرفیوژن و «اشکال در الکترودها» در دستگاه دفیبریلاتور در اولویت خرابی قرار داشته‌اند. شایان ذکر است، نتایج به‌دست آمده از سیستم استنتاج فازی در این مطالعه، از نظر خبره‌های باتجربه تحقیق که تعداد اندکی بودند، قابلیت اطمینان مطلوبی داشته است. از طرفی، به‌کارگیری

شاخص‌های فرعی برای ارزیابی جامع هر یک از معیارها، استفاده از توابع معتبر و متناسب با مسئله و همچنین تدوین قواعد فازی بر اساس اجماع نظر متخصصان این حوزه، حاکی از اعتبار نتایج سیستم پیشنهادی برای پیاده‌سازی در وضعیت واقعی است، از این رو پیشنهاد می‌شود برای کاهش سطح ریسک ناشی از خرابی تجهیزات پزشکی، به‌ویژه در بخش اتاق عمل، برنامه‌نرم‌افزاری کاربرپسندی بر مبنای الگوی ارائه شده طراحی شود و در اختیار این بخش‌ها قرار گیرد تا بدون نیاز به بازرسی‌های حضوری کارشناسان خبره، ریسک خرابی تجهیزات در دوره‌های معین ارزیابی شود. این مهم، در صورتی که با افزایش آگاهی کاربران تجهیزات پزشکی از شکست‌های محتمل و روش‌های شناسایی و اقدامات اضطراری همراه شود، می‌تواند هم در کیفیت عملکرد حوزه سلامت و هم بهره‌وری اقتصادی خدمات حوزه سلامت نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد.

از جمله محدودیت‌های این مطالعه، تعداد محدود خبرگان و جلب همکاری و مشارکت ایشان و همچنین زمان بر بودن فرایند نظرسنجی و اجماع نظر متخصصان بوده است که از طریق برگزاری جلسات توجیهی و تشریح فرایند مطالعه، تلاش شد تا حد امکان از مشارکت خبرگان بهره برده شود.

### پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی

در مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود رویکرد ارائه شده به‌گونه‌ای توسعه یابد که ضمن ارزیابی شکست‌های ممکن هر یک از ماشین‌آلات، به تدوین استراتژی‌های تعمیر و نگهداری متناسب با هر یک از آنها با توجه به ارزیابی ریسک شکست و سایر پارامترها پرداخته شود. پیشنهاد دیگر اینکه، سیستم پشتیبانی جامعی بر مبنای رویکرد ارائه شده طراحی شود تا با اجرای آن به صورت دوره‌ای تصویر روشنی از میزان ریسک شکست تجهیزات به‌دست آید. همچنین از رویکرد ارائه شده در این مطالعه می‌توان در مطالعات مربوط به توسعه محصولات/ خدمات نیز استفاده کرد.

### References

- Abdelgawad, M. & Fayek, A. R. (2010). Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), 1028-1036.
- An, M., Chen, Y. & Baker, C. J. (2011). A fuzzy reasoning and fuzzy-analytical hierarchy process based approach to the process of railway risk information: A railway risk management system. *Information Sciences*, 181(18), 3946-3966.

- Arnold, F. S. & dan Marie-Claire, K. (2015). Risk Assessment Applications of Fuzzy Logic. *Casualty Actuarial Society*, Canadian Institute of Actuaries, Society of Actuaries.
- Batbayar, K., Takács, M. & Kozlovszky, M. (2016, May). Medical device software risk assessment using FMEA and fuzzy linguistic approach: Case study. In *Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), 2016 IEEE 11th International Symposium on* (pp. 197-202). IEEE.
- Chanamool, N. & Naenna, T. (2016). Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department. *Applied Soft Computing*, 43, 441-453.
- Efendigil, T., Onut, S. & Kahraman, C. (2009). A decision support system for demand forecasting with artificial neural networks and neuro-fuzzy models: A comparative analysis, *Expert Systems with Applications*, (32), 2291–2101.
- Esfahani, M., Javadi, M., Azizzadeh, M. (2015). Application of "Failure Modes and Effects Analysis" Method for improving of hospital information system. *Journal of Health Information Management*, 12(3), 338-346. (in Persian)
- Florence, G. & Calil, S. J. (2007). Risk classification of medical equipment in alert states. *Journal of Clinical Engineering*, 32(2), 79-84.
- Hadi-Vencheh, A., Hejazi, S. & Eslaminasab, Z. (2013). A fuzzy linear programming model for risk evaluation in failure mode and effects analysis. *Neural Computing and Applications*, 22(6), 1105-1113.
- Helvacioğlu, S. & Ozen, E. (2014). Fuzzy based failure modes and effect analysis for yacht system design. *Ocean Engineering*, 79, 131-141.
- Hyman, W. A. (2003). The theory and practice of preventive maintenance. *Journal of Clinical Engineering*, 28(1), 31-36.
- Jamshidi, A., Rahimi, S. A., Ait-Kadi, D. & Ruiz, A. (2015). A comprehensive fuzzy risk-based maintenance framework for prioritization of medical devices. *Applied Soft Computing*, 32, 322-334.
- Jee, T. L., Tay, K. M. & Lim, C. P. (2015). A new two-stage fuzzy inference system-based approach to prioritize failures in failure mode and effect analysis. *IEEE Transactions on Reliability*, 64(3), 869-877.
- Jenab, K., Blecher, R. M. & Moslehpour, S. (2015). SRB Field Joints Failure Analysis Using Fuzzy FMEA. *International Journal of Physics*, 3(1), 1-20.
- Jong, C. H., Tay, K. M. & Lim, C. P. (2013). Application of the fuzzy failure mode and effect analysis methodology to edible bird nest processing. *Computers and electronics in agriculture*, 96, 90-108.
- Kavosi, Z., Kharazmi, E., Sadeghi, A., DarziRamandi, S., Kazemifard, Y. & Mosalanejad, H. (2015). Identify Pharmaceutical processes potential errors using Failure Mode and Effect Analysis. *Journal of Health Information Management*, 12(3), 217-228. (in Persian)

- Kerk, Y. W., Tay, K. M., & Lim, C. P. (2015). An analytical interval fuzzy inference system for risk evaluation and prioritization in failure mode and effect analysis. *IEEE Systems journal*. Available in: [http://www.feng.unimas.my/images/paper/An\\_Analytical\\_Interval.pdf](http://www.feng.unimas.my/images/paper/An_Analytical_Interval.pdf).
- Khasha, R., Sepehri, M. M., Khatibi, T. & Soroush, A.R. (2013). Fuzzy FMEA Application to Improve Workflow in Operating Rooms. *Journal of industrial management*, 47(2), 135-147. (in Persian)
- Kumru, M. & Kumru, P. Y. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Applied Soft Computing*, 13(1), 721-733.
- Kuo, R.J., Wu, Y.H. & Hsu, T.S. (2012). Integration of fuzzy set theory and TOPSIS into HFMEA to improve outpatient service for elderly patients in Taiwan. *Journal of the Chinese Medical Association*, 75(7), 341-348.
- Lin, Q. L., Wang, D. J., Lin, W. G. & Liu, H. C. (2014). Human reliability assessment for medical devices based on failure mode and effects analysis and fuzzy linguistic theory. *Safety science*, 62, 248-256.
- Liu, H. C., Fan, X. J., Li, P. & Chen, Y. Z. (2014). Evaluating the risk of failure modes with extended MULTIMOORA method under fuzzy environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 34, 168-177.
- Liu, H. C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert systems with applications*, 40(2), 828-838.
- Liu, H. C., Liu, L., Liu, N. & Mao, L. X. (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 12926-12934.
- Liu, H. C., You, J. X., Shan, M. M. & Shao, L. N. (2015). Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid TOPSIS approach. *Soft Computing*, 19(4), 1085-1098.
- Liu, H. C., You, J. X., You, X. Y. & Shan, M. M. (2015). A novel approach for failure mode and effects analysis using combination weighting and fuzzy VIKOR method. *Applied Soft Computing*, 28, 579-588.
- Mazlom, M., Hashemizadeh, M., Dadpoor, B. & Ebrahimi, M. (2014). Identification and assessment of common errors in the admission process of patients in the Central Emergency Department of Imam Reza Hospital applying the prospective approach of "Failure Mode Effects Analysis" (FMEA). *Evidence Based Care Journal*, 3(4), 7-18. (in Persian)
- Molavi, M., Esmaelian & Ansari. (2013). Proposing a New Approach for Prioritization of Organizational Agility Strategies Using FTOPSIS and Fuzzy Inference System. *Journal of industrial management*, 5(1), 123-138. (in Persian)

- Ridgway, M. (2009). Optimizing our PM programs, *Biomedical Instrumentation & Technology*, 43(3), 244-254.
- Ross, T. J. (2009). *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley & Sons.
- Sadeghi Moghadam, M. R., Safari, H. & Ahmadi Nozari, M. (2016). Measuring sustainability of service supply chain by using a multi-stage/multicast fuzzy inference system (Studied Case: Parsian Bank). *Journal of industrial management*, 7(3), 533-562. (in Persian)
- Smith, I. J. (Ed.). (2005). *Failure mode and effects analysis in health care: proactive risk reduction*. Joint Commission Resources. ISBN-10: 0866889108.
- Taghipour, S., Banjevic, D. & Jardine, A. K. (2011). Prioritization of medical equipment for maintenance decisions. *Journal of the Operational Research Society*, 62(9), 1666-1687.
- Tawfik, B., Ouda, B. K. & El Samad, Y. M. A. (2013). A fuzzy logic model for medical equipment risk classification. *Journal of Clinical Engineering*, 38(4), 185-190.
- Tay, K. & Lim, C. (2006). Fuzzy FMEA with a guided rules reduction system for prioritization of failures. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 23(8), 1047-1066.
- Tay, K. M. & Lim, C. P. (2010). Enhancing the failure mode and effect analysis methodology with fuzzy inference techniques. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 21(1), 135-146.
- Vahdani, B., Salimi, M. & Charkhchian, M. (2015). A new FMEA method by integrating fuzzy belief structure and TOPSIS to improve risk evaluation process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(1-4), 357-368.
- Vinodh, S., Aravindraj, S., Sathya Narayanan, R. & Yogeshwaran, N. (2012). Fuzzy assessment of FMEA for rotary switches: a case study. *The TQM Journal*, 24(5), 461-475.
- Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert systems with applications*, 36(2), 1195-1207.
- Withanachchi, N., Uchida, Y., Nanayakkara, S., Samaranayake, D., & Okitsu, A. (2007). Resource allocation in public hospitals: Is it effective? *The Journal of Health policy*, 80(2), 308-313.
- Yeh, R. H. & Hsieh, M. H. (2015). Fuzzy assessment of FMEA for a sewage plant. *Journal of the Chinese institute of industrial engineers*, 24(6), 505-512.
- Yucel, G., Cebi, S., Hoegel, B. & Ozok, A. F. (2012). A fuzzy risk assessment model for hospital information system implementation. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 1211-1218.