

گواهی ارائه مقاله

سومین کنفرانس بین المللی

مهندسی مکانیک و هوافضا

بین المللی گواهی می شود مقاله با عنوان:



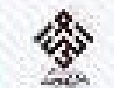
تلفن: ۰۲۱-۷۷۰۳۳۱۰۴



تلفن: ۰۲۱-۷۷۰۳۳۱۰۴

ID:2814

Code:mechaerol817-28140461



تحلیل EMEA فازی برای شناسایی و کنترل خرابی ها در سیستم هیدرولیک ماشین تراش CNC

نویسنده: ایزدینگان، علی لاری، عباس روحانی، محمد طیبی زاده، فریاد گلکان، رسول خدا شهبان

در سومین کنفرانس بین المللی مهندسی مکانیک و هوافضا با شماره ۳۱۳۱۳۱۳۷۰۹۶۳ از مجلدات علوم، تحقیقات و فناوری در ۲۱ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷

در گل دانشگاه مندی مکانیک و متالورژی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی با حضور ایشان به صورت سخنرانی ارائه گردید.

این مقاله در پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) و کنفرانس مجامع ملی (CIVILICA) نیز خواهد شد. فرقی در روزهای چهارم و پنجمی ملی در اجزای کشور نیز میسر است.

دکتر محمد حسین شهبان
دبیر اجرایی کنفرانس
دکتر علیرضا جعفری
دبیر علمی کنفرانس



دکتر عبدالرزاق کمی شهبان
دبیر اجرایی کنفرانس

محل: ایران - تهران - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۱ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷



Certificate

WWW.MECHAERO.IR

ID:2814
Code:mechaero1817-28140461



3rd International Conference on Mechanical & Aerospace Engineering

This is to certify that

**Ali Vaysi ,Abbas Rohani ,Mohammad Tabasizadeh ,Farhad Kolahan ,Rasool
Khodabakhshian**

gave an oral presentation of their paper entitled
**'Fuzzy FMEA analysis to identify and control failures in CNC lathe machine
hydraulic system'**

at the **"3rd International Conference on Mechanical & Aerospace Engineering"**
held on May 11, 2018 at K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran.

The paper will be indexed in the ISC and CIVILICA data base.

Dr.S.Mojtaba Mosavi Nainian
Conference Chairman

Dr. S. Mohammad Hosein Sharifi
Executive Secretary

Dr. A. Kabinejad
Conference Secretary



K. N. Toosi University of Technology - Tehran - Iran / May, 11, 2018





تحلیل FMEA فازی برای شناسایی و کنترل خرابی‌ها در سیستم هیدرولیک ماشین تراش CNC

علی ویسی^۱، عباس روحانی*^۲، محمد طبسی زاده^۲، فرهاد کلاهان^۳، رسول خدابخشیان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

*نویسنده مسئول: arohani@um.ac.ir

چکیده

ارائه راهبردهای مناسب نگهداری و تعمیرات با بهره‌گیری از رویکرد تحلیل ریسک، با توجه به اهمیت مدیریت یکپارچه دارایی‌های فیزیکی در راستای بهبود قابلیت اطمینان سیستم‌های بحرانی در ماشین CNC و نیز پیوستگی عملیات ماشینکاری و کاهش توقف تولید بسیار حائز اهمیت است. توقف موجب کم شدن کارایی و اتلاف منابع تولید می‌شود و برنامه ریزی و زمانبندی بهینه تولید را با مشکل مواجه می‌کند. لذا این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل شکست در سیستم هیدرولیک ماشین CNC که موجب وقفه در عملکرد آن می‌شوند انجام گرفته است. در این پژوهش از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی و اثرات آن (FMEA) در دو حالت مرسوم و فازی برای ارزیابی ریسک سیستم هیدرولیک ماشین تراش CNC استفاده و نتایج آن‌ها مقایسه شد. طبق نظرات کارشناسان برای سیستم هیدرولیک ماشین CNC تراش در مجموع ۸ زیرسیستم مهم وجود دارد که حالت‌های خرابی عمدتاً در آن‌ها اتفاق می‌افتد. پس از ارزیابی مشخص شد که ۴ زیر سیستم اتصالات، الکتروموتور، پمپ هیدرولیک و شیر کنترل فشار حالت‌های خرابی‌شان در اولویت اول برای اقدامات کنترلی و اصلاحی قرار دارد. نتایج نشان داد رتبه‌بندی دقیق‌تر در روش FMEA فازی موجب بهبود اولویت‌بندی انجام شده و در نتیجه بستر مناسب‌تری برای برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات فراهم می‌کند و موجب افزایش قابلیت اطمینان در عملکرد این سیستم می‌شود.

کلمات کلیدی: سیستم هیدرولیک، ماشین CNC، FMEA فازی، نگهداری و تعمیرات.

۱. مقدمه

امروزه استفاده از دستگاه‌های CNC در فرایند ماشین‌کاری مدرن به علت مزایای بالایی که دارند افزایش یافته است. یکی از مسائل بسیار مهم در ماشین‌کاری CNC، قابلیت اطمینان آن‌ها می‌باشد زیرا هرگونه خرابی ممکن است بر تولید نرمال تأثیر بگذارد. همچنین حتی یک خرابی در ماشین CNC منجر به توقف کل تولید می‌شود. این دستگاه‌ها نگهداری و تعمیرشان به دلیل طراحی متفاوت نسبت به ماشین‌های سنتی و استفاده از تجهیزات کامپیوتری، الکترونیکی، الکتریکی، هیدرولیکی و پنوماتیکی پیچیده و گران و مستعد ایجاد مشکلات فراوان برای کاربران است. بنابراین نیاز به افزایش قابلیت اطمینان وجود دارد [1]. در بسیاری از فعالیت‌های صنعتی برای انتقال قدرت از سیال تحت فشار استفاده می‌کنند که به دو صورت هیدرولیک و نیوماتیک می‌باشد. از نیوماتیک برای نیروهای نسبتاً کم و سرعت‌های حرکتی بالا ولی سیستم‌های هیدرولیک عمدتاً برای قدرت‌های بالا و سرعت‌های کنترل شده دقیق استفاده می‌شوند [2]. در ماشین‌کاری صنعتی برای تبدیل ماشین‌های کنترل دستی به کنترل نیمه اتوماتیک به سه مبحث مکانیک، الکترونیک و مکترونیک نیاز است. در کنترل نیمه اتوماتیک از نظر مکانیکی طراحی مدار هیدرولیک بسیار مهم است. مدار هیدرولیک در ماشین تراش CNC شامل بخش‌های تغییر ابزار، پردازش ماشین‌کاری و قرار دادن ابزار در تارت می‌باشد که از تجهیزاتی چون پمپ پره‌ای، موتور هیدرولیک و دو شیر کنترل جهت برای تغییر ابزار تشکیل شده است [2]. خرابی هر یک از اجزای سیستم هیدرولیک موجب اختلال در عملکرد دستگاه خواهد شد، همچنین دسترس پذیری بالای تجهیزات هیدرولیکی ماشین CNC موجب عملکرد مناسب سیستم هیدرولیک و در نتیجه افزایش قابلیت اطمینان دستگاه CNC می‌شود. برای پیشگیری از وقوع خرابی و کاهش خسارت ناشی از آن باید خرابی‌ها شناسایی و علل آن‌ها تعیین گردد و راهکارهای نگهداشت مناسب مشخص گردد. برای شناسایی و پیش بینی خرابی‌ها از روش‌هایی مانند؛ روش تحلیل حالات خرابی و آثار آن استفاده می‌شود که یکی از روش‌های بسیار مفید در تجزیه و تحلیل سیستم‌ها به ویژه زمانی که سیستم‌ها پیچیده بوده و تعداد قطعات آن‌ها زیاد است، می‌باشد. این روش در راستای برنامه‌های قابلیت اطمینان بوده که تمام خرابی‌های ممکن در طرح و عملکرد سیستم را شناسایی و با یافتن راه حل‌هایی برای آن‌ها از بروز مشکلات پیشگیری، ضایعات تولید را کاهش و اطمینان در فرایندها را افزایش می‌دهد [3]. روش تجزیه و تحلیل حالات خرابی و اثرات آن (FMEA) برای بار نخست در دهه ۱۹۶۰ میلادی در صنایع هوافضای آمریکا استفاده شد و در دهه ۱۹۷۰ میلادی توسعه یافت. در فوریه ۱۹۹۲ استاندارد SAE-J-1739 به عنوان استاندارد مرجع FMEA در صنایع خودروسازی معرفی شد و به دنبال آن در سال‌های اخیر، توسعه سیستم‌های تضمین کیفیت در صنعت خودرو به خصوص وضع استاندارد QS-9000 در صنعت خودروی آمریکا، موجب رواج بیشتر استفاده از این روش گردید [4]. FMEA یکی از تکنیک‌های نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان است که در صنایع تولیدی برای بهبود بهره‌وری تولید، کاهش خرابی‌های بحرانی و غیره استفاده می‌شود. این روشی است که با ارزیابی خرابی‌های احتمالی سیستم و در نظر گرفتن هر حالت نقص در داخل سیستم، یک ابزار بسیار جامع برای کمک به ساختار مدیریت نت فراهم می‌کند. هدف این روش بهبود مداوم و کاهش حالت‌ها و عوامل ایجاد کننده خرابی است. یک مسائل حیاتی در تعیین حالت‌های خرابی رتبه‌بندی بحرانی حالت‌های خرابی و تجزیه و تحلیل اثرات آن است. در روش FMEA متداول، رتبه‌بندی حالت‌های بحرانی خرابی، با استفاده از شماره‌های اولویت خطر (RPN) تعیین می‌شود که محصول ارزیابی معیارهای مانند احتمال وقوع (O)، شدت (S) و تشخیص (D) هر حالت خرابی (RPN = S * O * D) است. RPN یک شاخص است که اولویت سطوح ریسک وابسته به هر حالت خرابی را بیان می‌کند. تجزیه و تحلیل حالت‌های خرابی ثابت شد که یکی از ضروری‌ترین اقدامات پیشگیرانه سریع برای سیستم می‌باشد، که می‌تواند از خرابی‌های ناگهانی جلوگیری کند [5].



تکنیک FMEA، می‌تواند در ریشه‌یابی یا عارضه‌یابی عوامل شکست و نیز ارائه فعالیت‌های بهینه‌نگهداشت نقش مهمی داشته باشد که نهایتاً تاثیر آن بر روی بهبود سیستم‌های نگهداری تجهیزات خواهد بود [6]. با توجه به اهمیت روش FMEA، تاکنون مطالعات زیادی با استفاده از این روش در صنایع مختلفی چون هوافضا، هسته‌ای، نفت و گاز، صنایع غذایی، کشاورزی، فولاد، پزشکی و غیره برای تحلیل حالات خرابی تجهیزات، پیش بینی آن‌ها، کمک به رفع و کاهش آن‌ها چه در مرحله طراحی قبل از تولید، چه در مراحل تولید و همچنین در مراحل مصرف انجام شده است [7]. برای نمونه می‌توان به چند مورد از تحقیقاتی که تاکنون در بخش‌های مختلف انجام شده اشاره کرد مانند؛ پرایس و همکاران که در سال ۲۰۰۶ از تکنیک FMEA برای تجزیه و تحلیل ایمنی الکتریکی خودکار در محیط خودرو استفاده و با در نظر گرفتن اثرات هر خرابی در عملکرد کلی میزان شدت، دفعات وقوع و شدت وقوع خرابی را تعیین و عدد ریسک را برای اولویت‌بندی حالت‌های خرابی محاسبه کردند [8]. یانگ و همکاران (۲۰۱۱)، با استفاده از تکنیک FMEA مطالعه کارآمدی روی تیغه‌های روتور توربین هواپیما [9]، دیگو و مورسی (۲۰۱۴)، مطالعه‌ای روی توقف ماشین آلات تولید لوله UPVC [10]، وایتلی و همکاران (2015)، مطالعه‌ای روی سلول سوختی با غشای الکترولیتی پلیمری (PEMFC) با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات خرابی و اثرات آن [11]، داگ سیو (۲۰۱۶)، مطالعه‌ای روی واحد استرلیزاسیون تجهیزات پزشکی [12]، انجام دادند.

در زمینه ماشین‌های CNC تاکنون تحقیقات متعددی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن برای شناسایی خرابی‌های این نوع ماشین‌ها و پیشگیری از وقوع خرابی در آن‌ها انجام شده است که به برخی از آن‌ها در اینجا اشاره می‌گردد.

شنگ و همکاران (2008) ضرورت قابلیت اطمینان ماشین ابزارهای CNC، مورد توجه شرکت‌ها و موسسات برای بررسی قابلیت اطمینان فن‌آوری‌های ماشین ابزار CNC بررسی و FMEA را به عنوان یکی از روش‌های معتبر کیفی شناخته شده در زمینه روش‌های قابلیت اطمینان معرفی کردند [13]. وانگ و همکاران (۲۰۱۶)، از تجزیه و تحلیل خرابی‌های بحرانی و آثار آن (FMECA) برای تجزیه و تحلیل خرابی سیستم تغذیه مراکز ماشینکاری CNC استفاده کردند. در این مقاله، بهبود شرایط بحرانی (ICR) محاسبه شده و خرابی‌های سیستم تغذیه توسط IFMECA بر اساس داده‌های خرابی سیستم تغذیه اولویت‌بندی گردید [14]. لی و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه‌ای روی تجزیه و تحلیل حالت خرابی یک مرکز ماشین کاری انجام دادند. سپس به رتبه بندی حالت‌های خرابی با استفاده از مقادیر RPN پرداختند [15]. در رویکرد متداول FMEA، برای اولویت بندی حالت‌های خرابی از شاخصی تحت عنوان عدد اولویت ریسک یا $RPN = S * O * D$ استفاده می‌شود. در این رابطه O، S و D به ترتیب احتمال وقوع، شدت وقوع و قابلیت کشف خطر بالقوه را نشان می‌دهد [16]. این رویکرد سنتی به دلیل روشی که برای محاسبه شاخص عدد اولویت ریسک دارد همواره مورد انتقاد محققان است. نقاط ضعف اساسی روش FMEA متداول عبارتند از؛ ۱- متغیرهای ورودی (O، S و D) که غالباً از نظرات خبرگان بدست می‌آید، ممکن است دچار اشتباهات، تناقضها و ابهام‌هایی در قضاوت آنها در ارزیابی ریسک شود. ۲- ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی ممکن است مقادیر یکسانی برای RPN داشته باشند، در صورتی که ممکن است مفاهیم خطر کاملاً متفاوتی از یک دیگر داشته باشند. ۳- در روش متداول فرض بر اینست که پارامترهای ورودی اهمیت نسبی یکسانی دارند. در صورتی که در واقعیت، درجه اهمیت و وزن این پارامترها می‌تواند متفاوت باشد. ۴- عدد ریسک فقط از حاصلضرب سه پارامتر ورودی بدست می‌آید و روابط غیر مستقیم بین پارامترها در نظر گرفته نمی‌شود [17]

برای از بین بردن محدودیت‌های روش متداول FMEA، نظریه مجموعه فازی به عنوان یک هوش محاسباتی پیشنهاد شده است. معرفی رسمی تئوری مجموعه فازی توسط پروفسور لطفی زاده در اوایل دهه ۱۹۶۰ شکل گرفته است. مجموعه فازی مجموعه‌ای از اشیا با درجه عضویت است که در فاصله صفر و یک قرار دارند [18]. نقطه قابل توجه در مجموعه فازی این است که آنها نزدیک به ابهام هستند و بر اساس تقریب و نه دقیق بودن بیان می‌گردند. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند، صورت‌بندی ریاضی بخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم کند [19]. برای غلبه بر اشکالات FMEA متداول، تلاش‌های قابل توجهی در تاریخچه FMEA انجام شده و برای برطرف کردن آن‌ها از رویکرد منطق فازی به طور گسترده در پیشینه FMEA استفاده شده است. چانگ و همکاران (۱۹۹۹)، از اصطلاحات زبانی فازی برای ارزیابی O، S و D استفاده کردند [20]. زو و همکاران (۲۰۰۲)، یک سیستم ارزیابی تخصصی فازی را برای موتورهای دیزل با گاز توربوشارژر توسعه دادند [21]. لرتوراسیرکول و همکاران (۲۰۰۳)، یک سیستم تجزیه و تحلیل داده‌های فازی با استفاده از FMEA برای سیستم آبرسانی کمکی راکتورهای آب آشامیدنی پیشنهاد کردند [22]. زفیروپولوس و همکاران (۲۰۰۵)، یک روش برای پیش بینی قابلیت اطمینان و FMECA دستگاه‌های الکترونیکی با استفاده از منطق فازی ایجاد کرد [23]. ژو و تای (۲۰۱۶) از نظریه فازی و خاکستری در تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی (FMEA)، برای پیش‌بینی خرابی تجهیزات تانکرهای نفتکش استفاده کردند [24]. یزدی و همکاران (2017)، از روش تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست فازی توسعه یافته برای تحلیل حالات و اثرات خرابی تجهیزات سیستم فرود هواپیما استفاده کردند [25]. در زمینه ماشین‌های CNC هم با استفاده از روش FMEA فازی تاکنون مطالعاتی انجام گرفته مانند؛ یانگ و همکاران (۲۰۱۰)، از یک مدل FMEA جدید فازی که با یک روش مقیاس زبانشناختی فازی ترکیب شده بود برای تحلیل نوعی ماشین تراش CNC استفاده کردند. این مدل یک نمودار فضای ریسک را برای بیان رابطه O، S و D ارائه داد که در آن تعداد اولویت ریسک از طریق فرمول وزن فاصله اقلیدسی و تقسیم‌بندی مرکزی بر اساس سطح آلفا محاسبه می‌شد. نتایج نشان داد که FMEA فازی که در تراش CNC استفاده می‌شود یک روش منطقی برای تولید با یک طرح حمایت از تولید است [26]. گوپتا و میشر (2016)، مطالعه‌ای در خصوص استراتژی‌های نگهداری و تعمیرات برای هر حالت خرابی از کاربردهای مهم دستگاه فرزکاری انجام دادند. در این مطالعه در مورد نت مبتنی بر قابلیت اطمینان با منطق فازی و مقایسه روش‌های متداول تجزیه و تحلیل حالات خرابی و اثرات آن به طور یکپارچه با روش مقیاس زبانشناختی فازی ارائه شده است. نتایج عدد اولویت ریسک بر اساس فرمول فاصله اقلیدسی وزنی و دفازی سازی مرکزی که در آن رتبه‌بندی بحرانی تعیین می‌شود، و استراتژی‌های نت مناسب برای هر حالت خرابی ارائه می‌گردد [27].

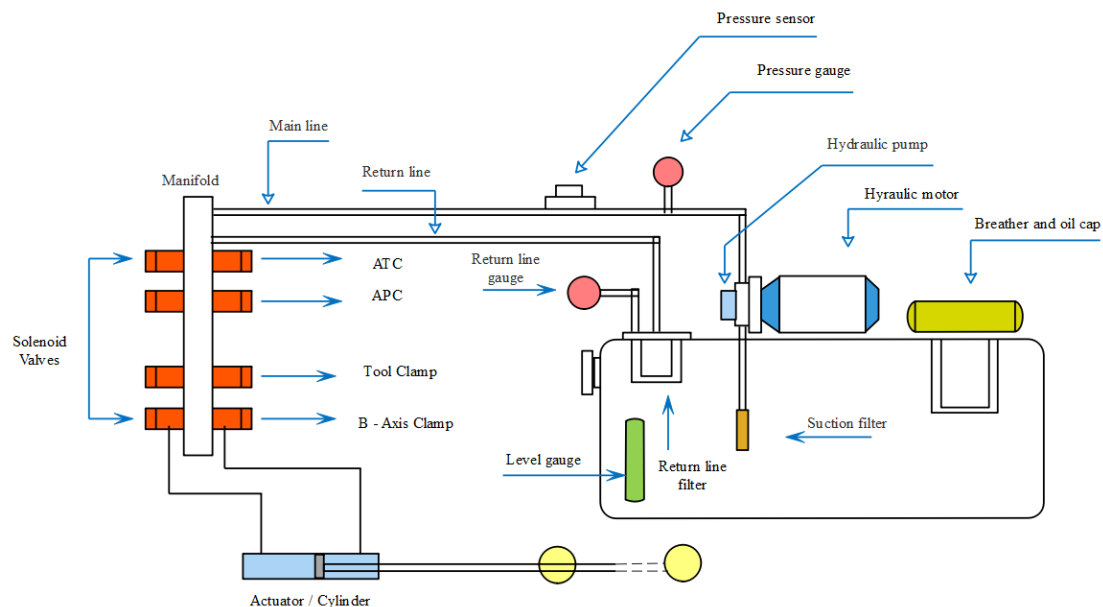
با توجه به معایب روش FMEA متداول که ذکر شد و عدم اطمینان از فاکتورهای ریسک، از روش فازی برای اولویت‌بندی حالت‌های خرابی تجهیز و با هدف ارزیابی دقیق ریسک استفاده شد. همچنین هدف از این تحقیق ارائه رویکردی برای شناسایی، اولویت‌گذاری و تحلیل عوامل توقف و خرابی سیستم هیدرولیک در یک ماشین CNC می‌باشد. مابقی ساختار مقاله به شرح ذیل است: در بخش ۲ به ارائه توضیح در خصوص روش انجام پژوهش، در بخش ۳ به تحلیل و بررسی نتایج پژوهش در سیستم هیدرولیک ماشین تراش CNC پرداخته، در بخش ۴ به انجام نتیجه‌گیری کلی و مقایسه‌ی دو روش می‌پردازیم و سپس در بخش ۵ پیشنهادهای برای تحقیقات آتی ارائه می‌شود.

۲. مواد و روش

در این مطالعه از روش تحلیل حالات بالقوه خرابی و آثار آن که روشی در حوزه برنامه‌های قابلیت اطمینان است به منظور مشخص کردن ریسک‌ها در سیستم هیدرولیک ماشین CNC و تمامی حالت‌های خرابی بالقوه آن استفاده شد. ابتدا به شرح مختصری در خصوص سیستم هیدرولیک یک ماشین تراش CNC، سپس به تشریح روش پژوهش حاضر می‌پردازیم. ماشین تراش یک ماشین ابزار برای تولید سطوح استوانه‌ای، مخروطی و مسطح است. همچنین یکی از ماشین ابزارهای بسیار رایج و کاربردی است که توسط بسیاری از ماشینکاران ماهر مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدار هیدرولیک در ماشین تراش CNC شامل بخش‌های تغییر ابزار، پردازش ماشینکاری و قرار دادن ابزار در تارت می‌باشد که از تجهیزاتی چون پمپ هیدرولیک، الکتروموتور، فشار شکن، گیج فشار، اتصالات و شیرهای کنترل جهت برای تغییر ابزار و فیلتر روغن تشکیل شده که در شکل ۱ نمای ظاهری آن و در شکل ۲ شماتیکی از نحوه قرار گیری اجزاء نشان داده شده است.

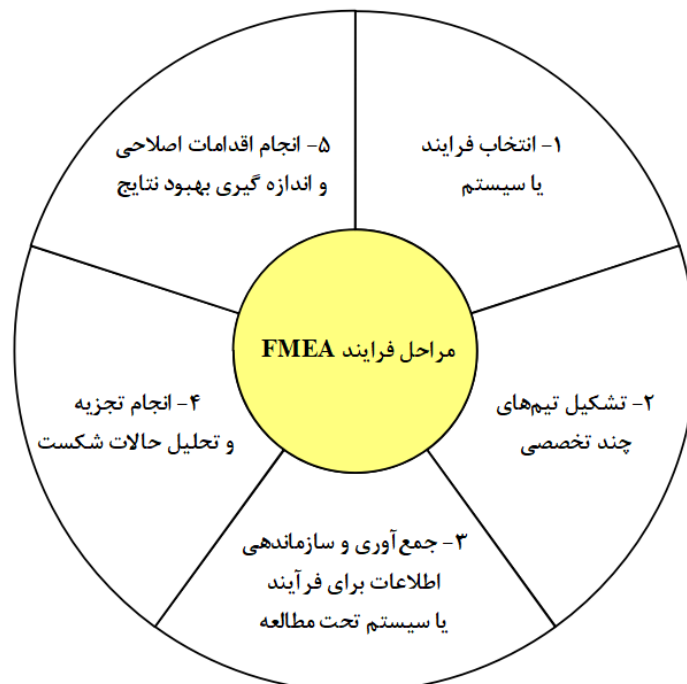


شکل ۱ - نمای ظاهری سیستم هیدرولیک در ماشین تراش CNC



شکل ۲ - نمایی از نحوه قرارگیری اجزای سیستم هیدرولیک در ماشین CNC

فشار هیدرولیکی در دستگاه CNC توسط یک مجموعه از اجزای هیدرولیکی در مدار بسته تأمین می‌شود. برای بالا بردن فشار تا فشار مورد نظر سیستم از پمپ هیدرولیک استفاده می‌شود و فشار سیستم به مکان کارهای مختلف از طریق شیرهای سلنوئیدی تنظیم کننده‌ی فشار هیدرولیک تنظیم می‌شود. برخی از وظایف مهم سیستم هیدرولیک در ماشین CNC عبارتند از؛ ۱- عملیات clamp و unclamp ابزار، پالت و محور چرخش ۲- فراهم کردن نیروی مناسب برای موتور هیدرولیک جهت چرخش تارت (ابزارگیر) و چرخش بازوها در مواردی که از سرو موتور یا موتورهای القایی استفاده نمی‌شود. برای انجام اولویت‌بندی در خرابی‌های سیستم هیدرولیک به منظور تعیین بحرانی‌ترین حالت ریسک، ابتدا باید فرایند FMEA را مطابق با پنج مرحله زیر انجام داد [7]:



شکل ۳ - مراحل کلی فرایند FMEA متداول

برای انجام تجزیه و تحلیل حالات شکست باید چندین اقدام صورت گیرد:

- شناسایی حالات شکست یا خرابی برای هر زیر سیستم.
- شناسایی اثرات بالقوه هر حالت خرابی.
- رتبه بندی شدت، احتمال وقوع و عدم تشخیص برای هر حالت خرابی سیستم.
- محاسبه عدد ریسک RPN با استفاده از سه پارامتر شدت (S)، احتمال وقوع (O)، عدم تشخیص (n D).
- تعیین بحرانی‌ترین ریسک و ترتیب اولویت آن‌ها با استفاده از RPN.

RPN نشان دهنده ریسک کلی هر یک از خرابی‌هاست که با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$RPN = S * O * D \quad (1)$$

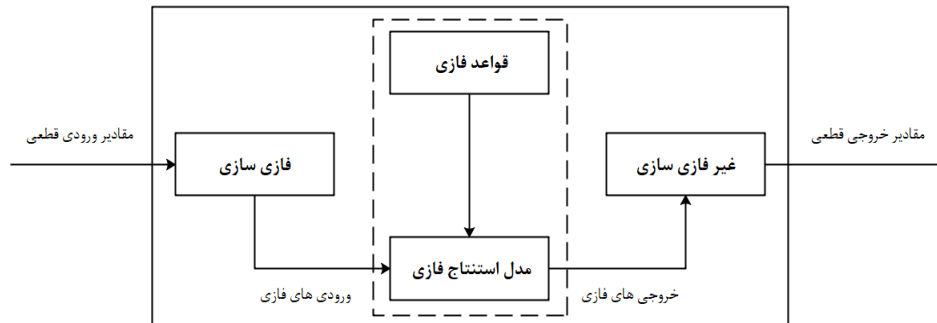
برای اندازه‌گیری پارامترهای شدت، احتمال وقوع و عدم تشخیص امتیازهای ۱ تا ۱۰ در نظر گرفته می‌شود [7]. در مطالعات قبلی نشان داده شد که امتیازهای ۱ تا ۱۰ از نظر اعضای متفاوت و صنایع گوناگون، متفاوت ارزیابی شده است. در نتیجه ارزیابی تمایل دارد که کمتر دقیق باشد [7]. در قسمت مقدمه بخشی از محدودیت‌های روش FMEA سنتی ذکر شده، مضاف بر آن اهمیت نسبی پارامترها در نظر گرفته نشده و آن‌ها به یک اندازه مهم در نظر گرفته می‌شوند،

همچنین روابط بین پارامترها مستقیم و خطی در نظر گرفته شده که در واقعیت این گونه نیست. با توجه به ضعفها و ناکارآمدیهای روش FMEA متداول، تحقیقات متعددی با هدف بهبود عملکرد آن انجام شده است. یکی از راه حل‌های موجود برای رفع این ناکارآمدی، ترکیب این روش با منطق فازی است. این روش در مواردی که داده‌ی کافی وجود ندارد و جمع آوری آن مشکل است یا اطلاعات به صورت متغیر زبانی و ذهنی موجود است، روش مناسبی به شمار می‌آید. در روش فازی استفاده از عبارتهای زبانی به متخصصان این امکان را می‌دهد تا مقادیر معنی‌دارتری برای پارامترهای عدد ریسک اختصاص دهند این مسئله کارایی FMEA را بهبود می‌بخشد. همچنین استنتاج فازی می‌تواند با دانش متخصصان ترکیب شده و نتایج قابل تفسیری را ارائه کند. در روش FMEA فازی ارزیابی صحیح RPN صورت می‌گیرد که نشان دهنده شدت مشکل است، که می‌تواند برای انجام اقدامات اصلاحی جهت کاهش یا حذف خطراتی که ممکن است رخ دهند مورد استفاده قرار گیرد. روش FMEA مبتنی بر قواعد فازی علاوه بر مزایای ذکر شده، مزایای دیگری هم دارد؛

- این اجازه را می‌دهد که تحلیلگر از اصطلاحات زبانی در ارزیابی بحرانی برای ارزیابی خطرات ناشی از خرابی به طور مستقیم استفاده کند.
- ابهام، اطلاعات یا داده‌های کیفی، مجموعه داده‌های کمی، می‌تواند در ارزیابی و مدیریت به طور مداوم، اما نه به طور صریح، مورد استفاده قرار گیرد.
- ساختار ترکیبی از پارامترها، شدت (S)، وقوع (O) و تشخیص (D)، انعطاف پذیرتر بود.

نظریه مجموعه‌های فازی (Fuzzy sets) تعمیمی بر نظریه کلاسیک بوده که با زبان و عبارات محاوره‌ای روزمره انطباق دارد. سیستم منطق فازی مبتنی بر این واقعیت است که برخی از مشکلات به مقدار صحیح یا دقیق نیاز ندارند و می‌توان مشکل را با توجه به تجربه قبلی یا دانش کارشناسان حل کرد. این روش مبتنی بر تئوری احتمال در تبدیل ورودی قطعی به ورودی فازی است که با ارجاع به شرایط مجموعه قواعد فازی پردازش شده توسط متخصصان تولید شده است. این مسئله را می‌توان با پردازش قوانین فازی حل کرد، سپس خروجی فازی به خروجی قطعی بر می‌گردانیم. منطق فازی یک ابزار برای تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان به داده‌ها با داشتن حالت انعطاف پذیری است. همچنین منطبق با الگوهای تفکر پیچیده انسان است و ویژگی‌های خاصتری نسبت به منطق بولی دارد، یعنی گسترش یک مفهوم حقیقی درست که شامل مقادیر بین کاملاً درست و کاملاً نادرست است؛ اما منطق بولی فقط مقادیر درست و نادرست دارد [28]. برای تشریح روش مورد استفاده در این مقاله که FMEA فازی می‌باشد، ابتدا به طور مختصر مراحل پیاده سازی منطق فازی بیان می‌گردد. این مراحل عبارتند از؛ نخست تعریف متغیرهای زبانی (Define linguistic variables)، در ادامه ساخت توابع عضویت فازی و بعد ساخت قواعد یا همان rule های فازی، سپس با توجه به تابع عضویت مد نظر داده‌های ورودی به مقادیر فازی تبدیل می‌شوند (Fuzzification). در قسمت بعد استنتاج قواعد فازی قرار دارد که قوانین در پایگاه قواعد فازی ارزیابی می‌شوند (Inference)، سپس نتایج حاصله از قواعد ترکیب شده و در آخر داده‌های خروجی به مقادیر غیر فازی تبدیل می‌گردد (Defuzzification) [18].

ابتدا داده‌های ورودی قطعی با استفاده متغیرهای زبانی و توابع عضویت در پروسه فازی سازی به مقادیر فازی تبدیل می‌شوند. سپس قوانین در سیستم منطق فازی به عنوان هسته پردازش استنتاج در نظر گرفته می‌شوند. یک استنتاج بسته به مجموعه‌ای از قوانین، آن‌ها را ارزیابی می‌کند و نتیجه تصمیم‌گیری سیستم را ترکیب می‌کند. در نهایت، در مرحله غیرفازی سازی خروجی فازی به خروجی قطعی تبدیل که به سیستم مرتبط می‌شود [29]. مدل مربوطه در شکل ۴ نشان داده شده است.

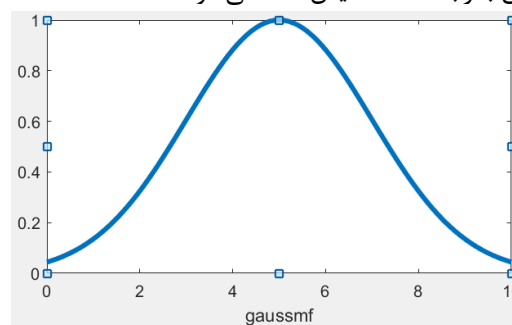


شکل ۴ - مدل مربوط به سیستم منطق فازی [29].

ورودی مرحله فازی سازی برای تعیین درجه عضویت در هر ورودی، همان داده های کلی تجزیه و تحلیل متغیرهای زبانی برای تشریح شدت، وقوع و شناسایی خرابی ها می باشد. این ورودی های فازی با استفاده از عملیات منطق فازی برای تعیین خطرات حالت های خرابی مورد ارزیابی قرار گرفتند و شامل درجه عضویت در گروه ریسک طبقه بندی می باشد. پس از غیرفازی سازی، خروجی فازی تبدیل به خروجی قطعی شد تا حالت خرابی را اولویت بندی کند [۷].

در مرحله فازی سازی مقادیر قطعی به وسیله تابع عضویت برای تعیین درجه عضویت به ازای هر داده ورودی به مقادیر فازی تبدیل می شوند، که به عنوان بهترین راه حل برای زمانی که اطلاعات اولیه باید به صورت عبارات زبانی تعریف شوند می باشد [۷]. در مجموعه فازی هر یک از اشیاء متناسب با تابع عضویتشان دارای درجه عضویت های متفاوت می باشند. تابع عضویت، تابعی با برد $[0,1]$ می باشد. اعضایی که تابع عضویت یک دارند، با قاطعیت به مجموعه مورد نظر تعلق داشته و سایر مقادیر با قطعیتی متناسب با تابع عضویتشان به مجموعه مورد نظر تعلق دارند. یک تابع عضویت برای بیان اصطلاحات زبانی استفاده می شود. اشکال متفاوتی از تابع عضویت وجود دارد. مانند؛ مثلثی، دوزنقه ای، گوسی، انواع خطی و غیر خطی و غیره. در اینجا برای نمونه تابع عضویت مثلثی را بیان می کنیم [۲۵]:

الف) تابع عضویت گوسی تابعی به شکل نمایی است که در آن a ، b و c ضرایب ثابت حقیقی و e عدد اویلر است. ثابت a تعیین کننده ارتفاع قله منحنی، b تعیین کننده محل مرکز قله و c انحراف معیار تعیین کننده میزان کشیدگی زنگوله است. و به صورت شکل ۵ و تابع آن مطابق با رابطه (۲) نمایش داده می شود.



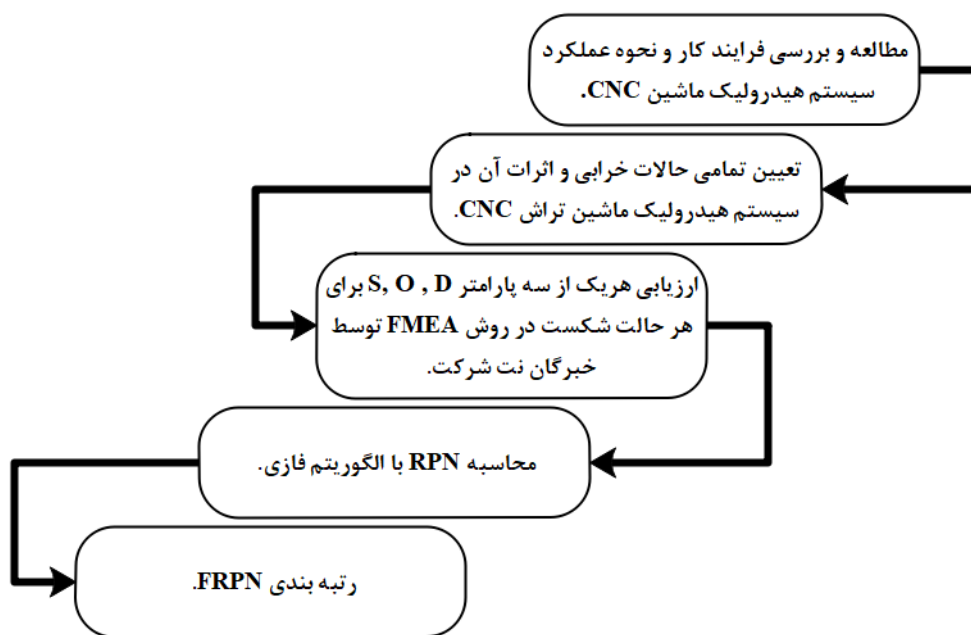
شکل ۵ - عدد فازی گوسی

$$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

در سیستم منطق فازی اساس قانون‌ها برای کنترل متغیر خروجی با استفاده از قواعد "اگر - آنگاه" ارائه و جمع‌بندی می‌شود و پس از آن مورد قضاوت قرار می‌گیرد. برای به دست آوردن نتایج، ارزیابی هر یک از قوانین در یک فرآیند به نام استنتاج فازی انجام می‌گردد. مرحله استنتاج فازی قواعد را به یک نگاشت از مجموعه فازی در فضای ورودی، به مجموعه فازی در فضای خروجی بر اساس اصول منطق فازی تبدیل می‌کند. دو روش استنتاج فازی معروف وجود دارد؛ روش استنتاج ممدانی (min-max) و روش استنتاج تاکاگی سوگونو. روش ممدانی به طور گسترده‌تری در استنتاج‌ها استفاده می‌شود. پس از ارزیابی یک قانون، نتیجه کلی به صورت یک مقدار فازی می‌باشد. سپس مقدار فازی خروجی باید غیر فازی شود و به یک مقدار قطعی تبدیل شود. یک تابع به وسیله تابع عضویت از متغیرهای خروجی ساخته می‌شود. یکی از روش‌های مورد استفاده بسیار مشهور و پرکاربرد در غیر فازی‌سازی روش مرکز ثقل می‌باشد که در رابطه (۳) برای مقادیر خروجی (FMEA فازی) آورده شده است.

$$FuzzyFMEA = \frac{\int_a^b \mu_A(X) x dx}{\int_a^b \mu_A(X) dx} \quad (3)$$

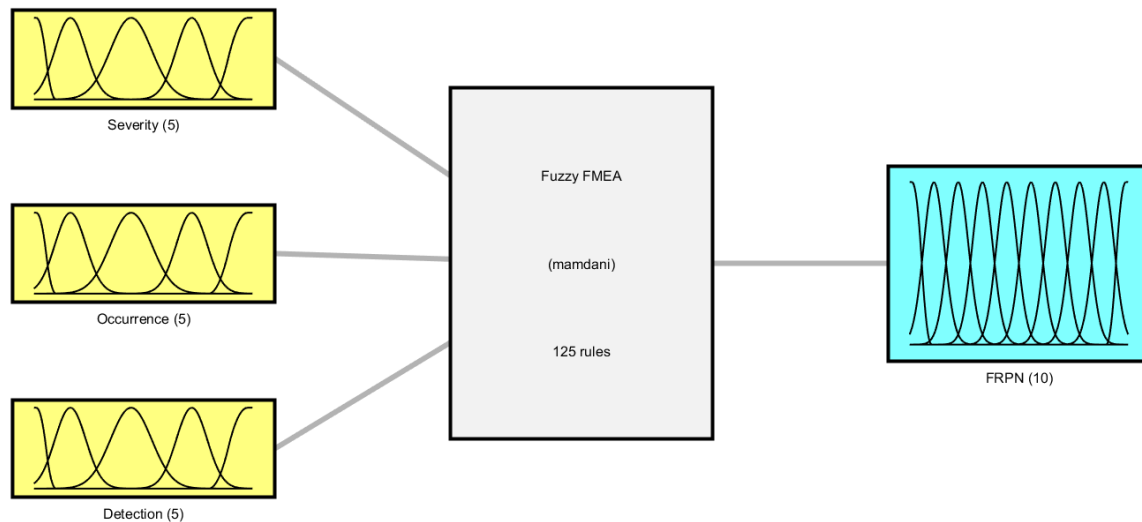
برای شناسایی و سپس اولویت بندی علل خرابی و توقف در عملکرد سیستم هیدرولیک ماشین CNC روش پیشنهادی در این تحقیق به پنج گام تقسیم می‌شود که در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۶- مراحل انجام روش تحقیق

در مرحله اول هدف ما تعیین عملکرد فرایند و حالت‌های جمع آوری داده برای تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده‌هاست که در این مرحله از طریق فرم‌های FMEA و پرسشنامه شفاهی از خبرگان حوزه ماشین‌های CNC در شرکت کیهان صنعت قائم انجام شده. در مرحله دوم تمامی حالات خرابی سیستم هیدرولیک در ماشین CNC و نحوه تأثیر آن بر عملکرد ماشین مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله سوم پارامترهای S, O, D برای هر یک از حالت‌های خرابی تعیین می‌شود و هر کارشناس متناسب با تجربه و معلومات خود به حالت‌های خرابی امتیاز می‌دهد و در آخر برای بدست آوردن پارامتر از

مقادیر کارشناسان میانگین هندسی می‌گیریم. در روش FMEA فازی نیاز به دانش تخصصی خاصی وجود ندارد و تعداد افراد هم محدودیتی ایجاد نمی‌کند. در مرحله چهارم مقدار RPN با الگوریتم فازی محاسبه می‌شود که در شکل ۷ نشان داده شده است.



System FMEA: 3 inputs, 1 outputs, 125 rules

شکل ۷- مدل FMEA فازی

برای تعریف متغیرهای زبانی و توابع عضویت فازی از جدول ۱ استفاده می‌کنیم، که به کمک مقالات گذشته و خبرگان صنعتی تعریف شده است. تخصیص متغیرهای زبانی برای هر حالت خرابی سیستم هیدرولیک ماشین CNC توسط افراد تیم FMEA انجام می‌شود.

جدول ۱- متغیرهای زبانی تعریف شده مورد استفاده در روش FMEA فازی

متغیرهای زبانی	علائم اختصاری	امتیاز اختصاص داده شده	شدت (Severity)	رخداد (Occurrence)	عدم تشخیص (Not detection)	عدد ریسک (RPN)
تقریباً هیچ کم	An	۱	بی خطر	۰ تا ۵ درصد	قابل شناسایی	بدون ریسک
کم	L	۲ و ۳	خطر کم	۵ تا ۱۵ درصد	احتمال بالا در شناسایی	ریسک پایین
متوسط	M	۴ و ۵ و ۶	خطر متوسط	۱۵ تا ۳۵ درصد	احتمال ۵۰ - ۵۰ در شناسایی	ریسک متوسط
زیاد	H	۷ و ۸	خطر زیاد	۳۵ تا ۵۰ درصد	احتمال کم در شناسایی	ریسک بالا
خیلی زیاد	Vh	۹ و ۱۰	خطر خیلی زیاد	بیش از ۵۰ درصد	غیر قابل شناسایی	ریسک بسیار بالا

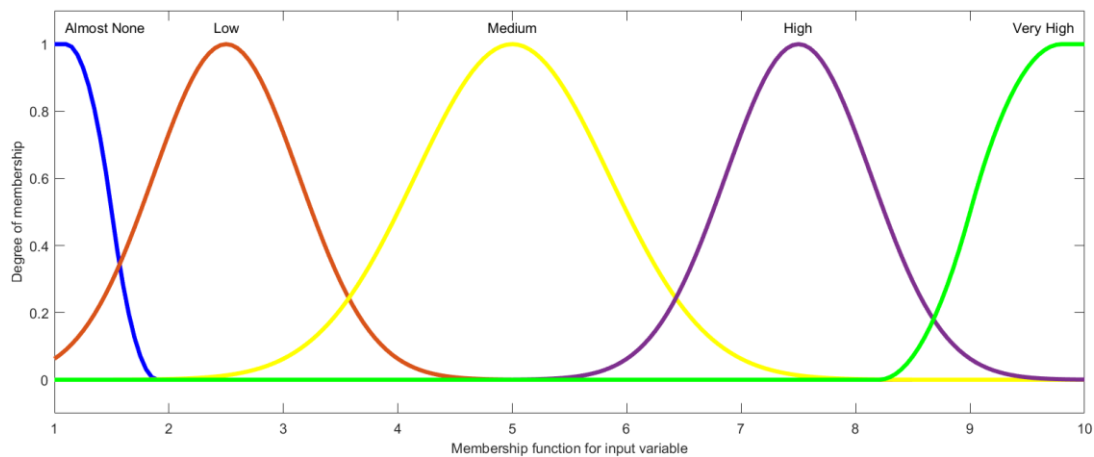
در جدول ۱ امتیازات ۱ تا ۱۰ هرفاکتور به پنج سطح برای تولید تابع عضویت تقسیم شده است. بعد از تعریف عبارت‌های زبانی توابع عضویت‌های مختلف استخراج می‌شود، که در اینجا ما از توابع عضویت مثلثی در شکل ۸ و ۹ به ترتیب برای متغیرهای ورودی و خروجی استفاده کرده‌ایم. از آنجا که متخصصان FMEA بر حسب اطلاعات، تجربه، ویژگی‌های فکری، از نظرات متفاوتی در مورد هر یک از شاخص‌های S, O and D برای هر یک از زیر سیستم‌ها برخوردار هستند. بنابراین باید از استنباط ترکیبی از نظرات متخصصان استفاده کرد. بنابراین مقادیر شاخص‌های ارزیابی ریسک متأثر از دانش، دیدگاه‌ها و اهداف فردی کارشناسان قرار خواهد گرفت و ارزیابی کاملاً بی‌طرف، بسیار دشوار است. از طرف دیگر، تیم FMEA بر حسب سن، تخصص، مهارت، تجربه، سطح دانش و غیره تقریباً ناهمگن است. بر اساس ویژگی‌های متخصصین در جدول ۲، مقادیر وزن‌های هر یک از آنها محاسبه شد (جدول ۳).

جدول ۲- جدول امتیازدهی به کارشناسان بر اساس ویژگی‌های آن‌ها

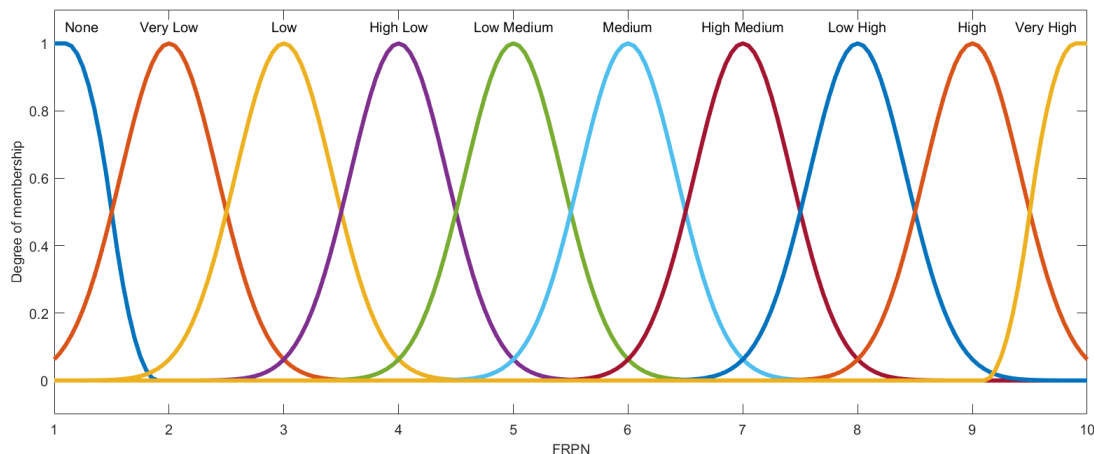
Item	Categorize	Score	Item	Categorize	Score
Education	PhD	5	Profession position	Higher-ranking academic	5
	Master	4		Low-ranking academic	4
	Bachelor	3		Engineer	3
	Associate	2		Technician	2
	Diploma	1		Worker	1
Age	More than 40	4	Job Tenure	More than 20 years	5
	36-39	3		16-20	4
	30-35	2		10-15	3
	Less than 30	1		6-9	2
				≤5	1

جدول ۳- وزن‌دهی به کارشناسان بر اساس تصمیم‌گیری‌های گروهی

Expert	Education	Age	Profession position	Job Tenure	Weighting score (w)
Expert 1:	Associate (2)	39 (3)	Technician (2)	16 (4)	0.23
Expert 2:	Master (4)	38 (3)	Engineer (3)	17 (4)	0.29
Expert 3:	Master (4)	32 (2)	Technician (2)	10 (3)	0.23
Expert 4:	Master (4)	34 (2)	Engineer (3)	13 (3)	0.25
Total	14	10	10	14	48/48=1



شکل ۸- تابع عضویت گوسی پارامترهای ورودی FMEA (S, O, D) فازی



شکل ۹- تابع عضویت گوسی پارامتر خروجی FMEA (RPN) فازی

قوانین برای استنتاج فازی و هدایت مقدار خروجی دریافتی استفاده می‌شود. همچنین این روش در فرایند غیرفازی سازی برای تبدیل خروجی‌های فازی به FRPN استفاده می‌شود. قوانین فازی با استفاده از کاربرانی که نسبت به سیستم دانش و تخصص دارند تعریف می‌شود. تعداد قوانین را می‌توان از حاصلضرب تعداد تابع عضویت‌های شدت، رخداد و عدم تشخیص در یکدیگر بدست آورد. در این پژوهش تعداد قواعد مورد استفاده برابر، $5,5,5 = 125$ می‌باشد. این قواعد برای کنترل مقدار خروجی، با ایجاد قانون‌هایی با استفاده از برنامه MATLAB تعریف می‌شوند. همچنین از حرف ربط " و " برای متصل کردن فاکتورها به مقدار خروجی برای کنترل مقدار FRPN که اهمیت سطوح ریسک را نشان می‌دهد، استفاده می‌گردد [7].

از عبارتهای زبانی بیان شده در جدول ۲ برای ایجاد ۱۲۵ قانون سیستم فازی استفاده می‌شود، به عنوان مثال؛

Rule# 26: **if** Occurrence = Almost none **and** Severity = Low **and** no Detection = Almost none **then** Risk = None.

Rule# 111: **if** Occurrence = Medium **and** Severity = Very high **and** no Detection = Almost none **then** Risk = High low.

جدول ۴- عبارتهای زبانی برای ایجاد قوانین سیستم فازی

S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN
Al	Al	Al	None	L	Al	Al	None	M	Al	Al	Very low	H	Al	Al	None	Vh	Al	Al	Very low
Al	Al	L	None	L	Al	L	None	M	Al	L	Very low	H	Al	L	Very low	Vh	Al	L	Very low
Al	Al	M	Very low	L	Al	M	Very low	M	Al	M	Low	H	Al	M	Low	Vh	Al	M	Low
Al	Al	H	Low	L	Al	H	Low	M	Al	H	High low	H	Al	H	Low	Vh	Al	H	Low
Al	Al	Vh	Low	L	Al	Vh	Low	M	Al	Vh	Low medium	H	Al	Vh	High low	Vh	Al	Vh	High low
Al	L	Al	Very low	L	L	Al	Very low	M	L	Al	Low	H	L	Al	Very low	Vh	L	Al	Low
Al	L	L	Low	L	L	L	Low	M	L	L	High low	H	L	L	Low	Vh	L	L	High low
Al	L	M	Low	L	L	M	High low	M	L	M	Low medium	H	L	M	High low	Vh	L	M	High low
Al	L	H	High low	L	L	H	Low medium	M	L	H	Medium	H	L	H	Low medium	Vh	L	H	Low medium
Al	L	Vh	Low medium	L	L	Vh	Medium	M	L	Vh	High medium	H	L	Vh	Medium	Vh	L	Vh	Medium
Al	M	Al	Very low	L	M	Al	High low	M	M	Al	Low medium	H	M	Al	Low	Vh	M	Al	High low
Al	M	L	Low	L	M	L	Low medium	M	M	L	Medium	H	M	L	High low	Vh	M	L	High low
Al	M	M	Low	L	M	M	Medium	M	M	M	High medium	H	M	M	Low medium	Vh	M	M	Low medium
Al	M	H	High low	L	M	H	High medium	M	M	H	Low High	H	M	H	Medium	Vh	M	H	Medium
Al	M	Vh	High low	L	M	Vh	Low High	M	M	Vh	High	H	M	Vh	High medium	Vh	M	Vh	High medium
Al	H	Al	Low	L	H	Al	Low medium	M	H	Al	Low	H	H	Al	Low medium	Vh	H	Al	Low medium
Al	H	L	High low	L	H	L	Medium	M	H	L	High low	H	H	L	Medium	Vh	H	L	Medium
Al	H	M	Low medium	L	H	M	High medium	M	H	M	Low medium	H	H	M	High medium	Vh	H	M	High medium
Al	H	H	Medium	L	H	H	Low High	M	H	H	High medium	H	H	H	Low High	Vh	H	H	Low High
Al	H	Vh	High medium	L	H	Vh	High	M	H	Vh	Low High	H	H	Vh	High	Vh	H	Vh	High
Al	Vh	Al	High low	L	Vh	Al	Low medium	M	Vh	Al	Low High	H	Vh	Al	Medium	Vh	Vh	Al	High medium
Al	Vh	L	Low medium	L	Vh	L	Low medium	M	Vh	L	Medium	H	Vh	L	High medium	Vh	Vh	L	Low High
Al	Vh	M	Medium	L	Vh	M	Medium	M	Vh	M	High medium	H	Vh	M	Low High	Vh	Vh	M	High
Al	Vh	H	High medium	L	Vh	H	High	M	Vh	H	Low High	H	Vh	H	High	Vh	Vh	H	Very High
Al	Vh	Vh	High	L	Vh	Vh	High	M	Vh	Vh	High	H	Vh	Vh	Very High	Vh	Vh	Vh	Very High

S=Severity, O=Occurrence, D=NO detection, FRPN=Fuzzy risk priority number

Almost none: Al , Low: L , Medium: M , High: H , Very high: Vh

در این پژوهش برای استنتاج فازی از روش استنتاج ممدانی به دلیل دقت آن و برای غیر فازی سازی از الگوریتم مرکز ثقل به دلیل کاربرد فراوان در منابع تحقیق استفاده شد.

۳. نتایج بحث

داده‌های مربوط به شکست‌های بحرانی از طریق فرم FMEA با استفاده از نظرات کارشناسان حوزه ساخت و تعمیر ماشین‌های CNC جمع آوری شد. در این پژوهش برای ارزیابی و اولویت‌بندی خرابی‌های سیستم هیدرولیک ماشین CNC دو روش مورد استفاده قرار گرفت. در روش اول تیم FMEA که از متخصصان نگهداری و تعمیر ماشین CNC بودند ابتدا به تجزیه و تحلیل حالات خرابی، اثرات و عوامل ایجاد کننده آن برای ۸ زیر سیستم از مجموعه سیستم هیدرولیک پرداختند، سپس سه پارامتر مهم (S, O & D) تشکیل دهنده عدد ریسک (RPN) را برای هر خرابی ۸ زیر سیستم تعیین کردند و بعد با حاصلضرب این سه پارامتر عدد ریسک تعیین و اولویت‌بندی شد. در روش دوم هر فرد از اعضای تیم FMEA با توجه به نظرات خود خرابی‌های سیستم را ارزیابی و سپس با استفاده از روش فازی عدد ریسک را محاسبه می‌کند. نتایج حاصل از پیاده سازی روش FMEA متداول و فازی برای اجزای سیستم هیدرولیک ماشین تراش

دو محوره CNC در جدول ۵ ارائه شده است. در این جدول همانطور که مشاهده می‌شود در هر دو روش مرسوم و فازی اتصالات سیستم هیدرولیک از بالاترین اولویت برخوردار است ولی برای اولویت‌های بعدی دو روش دارای نتایج متفاوتی بودند، به نحوی که در روش مرسوم زیر سیستم ۱ و ۷ و در روش فازی زیر سیستم ۱ و ۵ دارای رتبه دوم و سوم و زیر سیستم ۵ هم در هر دو روش دارای رتبه یکسان بود.

جدول ۵- مقایسه و اولویت بندی مقادیر RPN بین روش مرسوم و روش فازی.

شماره زیرسیستم	نام قطعه	حالات بالقوه خرابی	علل بالقوه خرابی	RPN	اولویت بندی	Fuzzy RPN	اولویت بندی
۱	الکتروموتور	۱- صدای غیر عادی. ۲- لرزش. ۳- آمپر کشیدن زیاد.	۱- خرابی یا سایش شافت. ۲- خرابی بلبرینگ. ۳- خرابی پروانه خنک کننده. ۴- گریس کاری به موقع بلبرینگ‌ها.	۱۸۷,۳۱	۲	۷,۷۸	۲
۲	پمپ هیدرولیک	۱- افت فشار. ۲- صدای غیر عادی.	۱- خرابی کارکردی (عمر). ۲- وجود ذرات در مخزن روغن. ۳- استفاده از ماکزیمم فشار پمپ.	۱۴۵,۶۷	۴	۷,۶۶	۳
۳	فیلتر روغن	۱- آلارم مربوطه هشدار می‌دهد. ۲- افت فشار.	اتمام عمر مفید کارکردی.	۵۳,۴۷	۷	۵,۱۳	۷
۴	گیج فشار	۱- عدم نمایش فشار. ۲- گیج از دامنه نشانگر خارج شده باشد.	۱- فشار بیش از حد مجاز. ۲- درست نصب نکردن گیج.	۵۰,۲۷	۸	۵,۱۰	۸
۵	فشار شکن	در حین تنظیم پیچ تنظیم، تغییر فشار نداریم. ۱- نشستی.	استفاده نادرست از آن.	۸۵,۵۸	۵	۶,۳۴	۵
۶	اتصالات	۲- هرز شدن رزوه در اثر باز و بست زیاد. ۳- خرابی ممه‌ای.	۱- باز و بست زیاد بسته به میزان دسترسی. ۲- فرسودگی.	۱۸۹,۷۹	۱	۷,۹۱	۱
۷	شیر کنترل فشار	۱- عملکردش دچار نشستی جزئی شده باشد. ۲- خرابی بوبین برقی.	۱- خرابی فرمان برقی. ۲- خرابی اسفول. ۳- خرابی اورینگ.	۱۷۲,۰۵	۳	۷,۰۵	۳
۸	مخزن و گیج روغن	۱- تخلیه روغن. ۲- افت فشار روغن. ۳- اختلال در عملکرد سیستم.	۱- سوراخ بودن مخزن یا بسته بودن مجاری آن. ۲- خرابی گیج روغن	۵۴,۸۱	۶	۵,۱۵	۶

به منظور تحلیل ریسک اجزا سیستم هیدرولیک به دو روش مرسوم و فازی به محاسبه RPNها برای هر چهار expert و تعیین priority Rank برای هر ۸ زیر سیستم مطابق با نظرات expert ها می‌پردازیم. نتایج روش مرسوم در جدول ۶ و نتایج روش FMEA فازی برای شاخص‌های S, O & D در حالت 5-scale به کمک تابع تعلق گوسی و روش غیرفازی سازی الگوریتم مرکز ثقل در جدول ۷ ارائه شد. در جدول ۶؛ نتایج مربوط به expert ها که به روش مرسوم به اولویت‌بندی پارامترها پرداختند ارائه شد. با توجه به اینکه هر Expert طبق جدول ۲ از وزن متفاوتی برخوردار است،

مقدار RPN را برای expert ها به دو حالت میانگین وزنی RPN expert ها (Expert m) و میانگین هندسی پارمترهای تشکیل دهنده ریسک و حاصلضرب آنها (RPN m) بیان شده است.

جدول ۶ - مقادیر Conventional RPN برای زیر سیستم های سیستم هیدرولیک.

Subsystem	RPN					RPN m
	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert m	
۱	۱۷۵,۰۰	۲۱۰,۰۰	۱۶۰,۰۰	۱۹۲,۰۰	۱۸۵,۹۵	۱۸۷,۳۱
۲	۱۴۰,۰۰	۱۴۰,۰۰	۱۷۵,۰۰	۱۲۸,۰۰	۱۴۵,۰۵	۱۴۵,۶۷
۳	۴۰,۰۰	۵۰,۰۰	۶۰,۰۰	۶۰,۰۰	۵۲,۵۰	۵۳,۴۷
۴	۴۸,۰۰	۶۰,۰۰	۴۰,۰۰	۴۸,۰۰	۴۹,۶۴	۵۰,۲۷
۵	۸۰,۰۰	۸۰,۰۰	۷۵,۰۰	۱۰۰,۰۰	۸۳,۸۵	۸۵,۵۸
۶	۲۱۰,۰۰	۱۷۵,۰۰	۱۶۰,۰۰	۲۱۰,۰۰	۱۸۸,۳۵	۱۸۹,۷۹
۷	۱۸۰,۰۰	۱۷۵,۰۰	۱۸۰,۰۰	۱۵۰,۰۰	۱۷۱,۰۵	۱۷۲,۰۵
۸	۴۲,۰۰	۶۳,۰۰	۶۳,۰۰	۴۸,۰۰	۵۴,۴۲	۵۴,۸۱

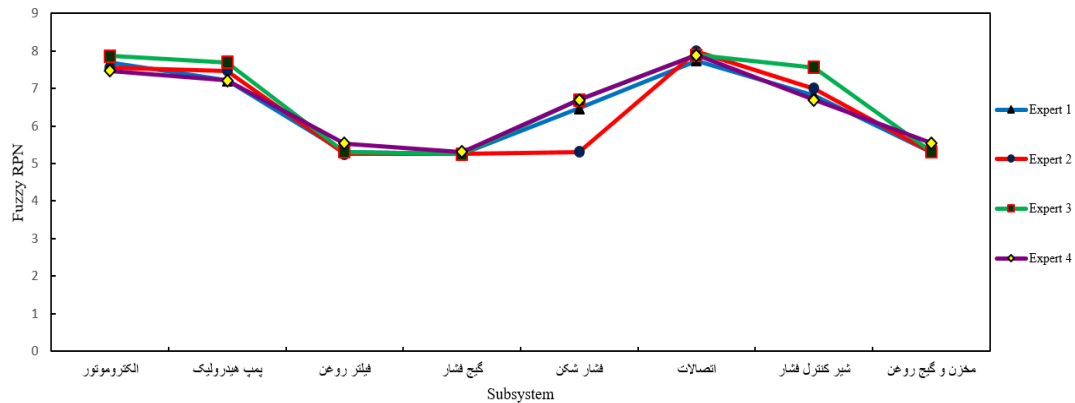
با مقایسه مقادیر Expert m و RPN m در جدول ۶ ملاحظه می شود که اولویت بندی RPN های هر expert و مقدار میانگین وزنی آنها تغییر کرد. برای مثال در Expert 2 پر ریسک ترین زیر سیستم، الکتروموتور بود در حالی که در Expert m اتصالات پر ریسک تر بود. همچنین با توجه به جدول ۶ مقادیر RPN m تفاوت چندانی با Expert m ندارد که این بیانگر اینست که حاصلضرب میانگین هندسی پارامترها تفاوت چندانی با میانگین وزنی RPN expert ها در اولویت بندی حالت های خرابی ندارد.

جدول ۷ - مقادیر Fuzzy RPN برای زیر سیستم های سیستم هیدرولیک.

Subsystem	FRPN					FRPN m
	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert m	
۱	۷,۶۸	۷,۵۶	۷,۸۶	۷,۴۷	۷,۶۸	۷,۷۸
۲	۷,۲۱	۷,۴۷	۷,۶۹	۷,۲۱	۷,۴۳	۷,۶۶
۳	۵,۳۱	۵,۲۵	۵,۳۱	۵,۵۳	۵,۳۵	۵,۱۳
۴	۵,۲۵	۵,۲۵	۵,۲۵	۵,۳۱	۵,۲۹	۵,۱۰
۵	۶,۴۷	۵,۳۱	۶,۶۹	۶,۶۹	۶,۲۴	۶,۳۴
۶	۷,۷۴	۷,۹۹	۷,۸۹	۷,۸۸	۷,۷۱	۷,۹۱
۷	۶,۸۲	۷,۰۰	۷,۵۶	۶,۶۹	۷,۰۹	۷,۰۵
۸	۵,۳۱	۵,۳۱	۵,۳۲	۵,۵۵	۵,۳۶	۵,۱۵

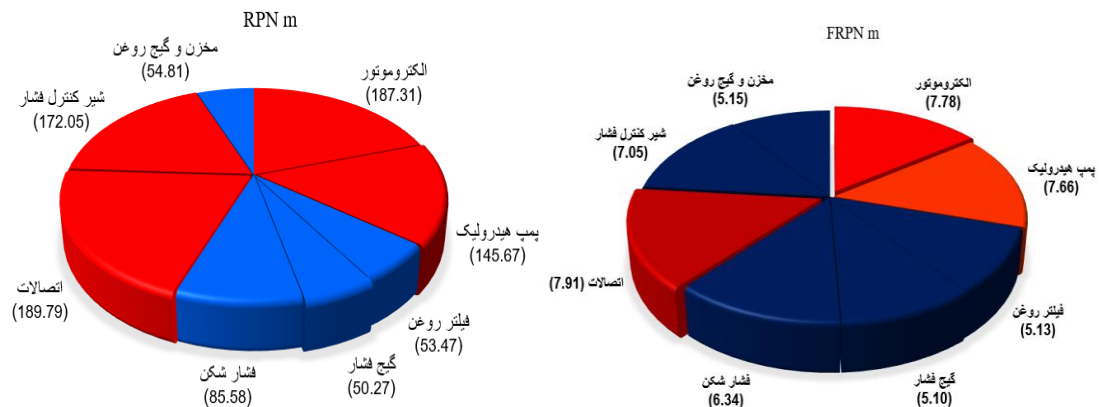
با توجه به جدول ۷ که نتایج روش فازی بیان شده است در هر دو فرم میانگین وزنی RPN expert ها و RPN حاصل از ضرب میانگین هندسی پارامترهای فازی، مجموعه اتصالات به عنوان پر ریسک ترین زیر سیستم تعیین شد و زیر سیستم های

الکتروموتور و پمپ هیدرولیک در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. در شکل ۱۰ نمودار (FRPN m) نشان داده شده است. در این نمودار مقادیر عدد ریسک هر زیر سیستم برای هر expert به رنگی متفاوت ارائه شده است.



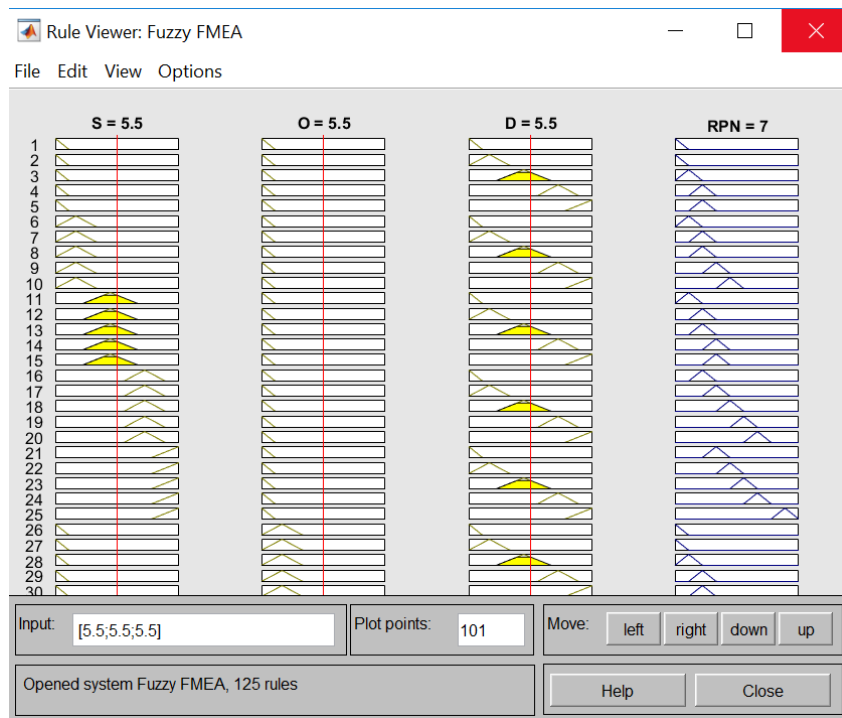
شکل ۱۰- مقادیر Fuzzy RPN برای زیر سیستم‌های مختلف سیستم هیدرولیک CNC تراش

مطابق با شکل ۱۰ مقادیر Fuzzy RPN برای expert های مختلف مقادیر نزدیک به هم دارد و از نظر همه آن‌ها اتصالات، الکتروموتور، پمپ هیدرولیک و شیر کنترل فشار به ترتیب دارای بیشترین عدد ریسک و پر خطرتر بودند.



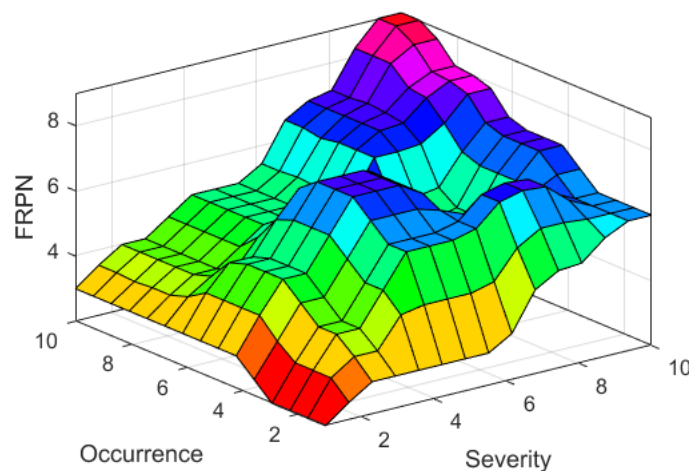
شکل ۱۱- نمودار دایره‌ای مقادیر RPN m و FRPN m زیر سیستم‌های مختلف سیستم هیدرولیک CNC

در هر دو مقدار RPN m و FRPN m پر ریسک‌ترین زیر سیستم اتصالات بود که به نظر کارشناسان عواملی چون فرسودگی و هرز شدن رزوه‌ها از جمله دلایل عمده خرابی اتصالات می‌باشد. همچنین الکتروموتور، پمپ هیدرولیک و شیر کنترل فشار هم در اولویت‌های بعدی جزء پر ریسک‌ترین‌ها بودند. در این زیر سیستم‌ها هم عواملی چون سایش، عدم گریسکاری به موقع، فرسودگی، وجود ذرات اضافی در روغن هیدرولیک، استفاده از ماکزیمم فشار، خرابی بلبرینگ و اورینگ و غیره موجب شکست و اختلال در سیستم هیدرولیک می‌شود که این دلایل در جدول ۴ در قالب علل بالقوه خرابی ارائه شده است.

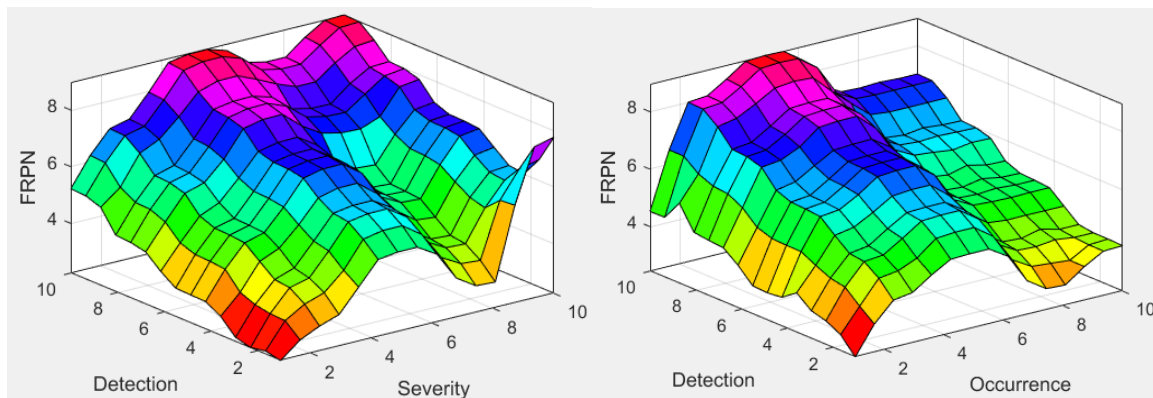


شکل ۱۲- غیر فازی سازی در نمودار قواعد

عملکرد سیستم FMEA فازی طراحی شده در شکل ۱۲ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با دریافت مقادیر جبری سه پارامتر (S, O & D) و انجام محاسبات فازی بر اساس ۱۲۵ قاعده فازی مقادیر RPN فازی در خروجی و سپس غیر فازی‌سازی آن را انجام می‌دهد.



شکل ۱۳- نمودار سطح پاسخ احتمال وقوع و شدت خرابی در برابر FRPN



شکل ۱۴- نمودار سطح پاسخ احتمال وقوع یا شدت خرابی و عدم تشخیص در برابر FRPN

بر اساس مدل قواعد ۳ نمودار سطح پاسخ سه بعدی مانند شکل‌های ۱۳ و ۱۴ بین ورودی‌های شدت، احتمال وقوع و عدم تشخیص با خروجی FRPN می‌توان ایجاد کرد. این نمودارها به ما نشان می‌دهد که چگونه با تغییر ۲ پارامتر ورودی خروجی FRPN تحت تأثیر قرار می‌گیرد و این که کدام یک از پارامترهای ورودی دارای وزن بیشتر و کدام یک از طرح‌ها و ترکیبات مختلف بیشترین کمک را به FRPN می‌کند. در شکل ۱۳ نتایج نشان می‌دهد که هرچه قدر Severity افزایش یابد، سطح ریسکی زیر سیستم نیز افزایش می‌یابد همین‌طور با افزایش Occurrence نیز FRPN افزایش می‌یابد ولی در مقابل افزایش در اثر Severity تأثیر کمتری دارد. بنابراین شاخص ریسکی S در مقابل شاخص ریسکی O اثر معنی داری بیشتری به تغییرات FRPN دارد. در شکل ۱۴ دو نمودار سطح پاسخ تغییرات FRPN در مقابل تغییرات دو شاخص S, nD و O, nD ارائه شده است. مقایسه نتایج تأثیر این شاخص‌های ریسکی بر FRPN نشان می‌دهد که عدم تشخیص بیشترین تأثیر را داشته و شدت و احتمال وقوع در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. در روش فازی برای جلوگیری از تشابه RPN ها از مقادیر واقعی وقوع و عدم تشخیص استفاده شد. در روش فازی چون نتایج بیشتر از روش مرسوم تصفیه می‌شوند، لذا واقعی تر و واضح تر از روش مرسوم می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای غلبه بر کمبودهای روش مرسوم از روش FMEA فازی برای اولویت‌بندی خرابی تجهیزات سیستم هیدرولیک ماشین CNC استفاده شد. تجزیه و تحلیل حالات خرابی و اثرات آن با استفاده از متغیرهای زبان شناختی فازی برای شاخص‌های ریسکی شدت (S)، احتمال وقوع (O) و عدم تشخیص (D) انجام شد. از پایگاه قواعد if – then برای اتصال متغیرها و محاسبه FRPN استفاده و نتایج بدست آمده از روش FMEA مرسوم و روش FMEA فازی مقایسه گشت. با به کار بردن روش این پژوهش که FMEA فازی است، مشکلات کارشناسان برای اولویت دهی به خرابی‌های سیستم هیدرولیک برطرف شده و مانند روش مرسوم نیاز نیست که کارشناسان برای امتیازدهی و رتبه‌بندی از اعداد ۱ تا ۱۰ استفاده کنند بلکه با به کار بردن عبارات‌های زبانی برای امتیازدهی شاخص ریسکی مقدار FRPN حاصل هم واقعی‌تر و نتایج آن ملموس‌تر بدست آمد. رتبه‌بندی دقیق‌تر در روش FMEA فازی موجب بهبود اولویت‌بندی انجام شده و در نتیجه بستر مناسب‌تری برای برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات فراهم می‌کند. در فرایند ارزیابی FMEA فازی امتیازهای افراد به حالت‌های خرابی منحصر به فرد است و این نشان دهنده آنست که افراد بدون در نظر گرفتن تعصب و صرفاً با توجه به معلومات و سلاقی خود امتیازدهی کرده‌اند. طبق نظرات کارشناسان برای سیستم هیدرولیک ماشین CNC تراش در مجموع ۸ زیرسیستم مهم وجود دارد که حالت‌های خرابی عمدتاً در آنها اتفاق می‌افتد. پس از ارزیابی

مشخص شد که ۴ زیر سیستم اتصالات، الکتروموتور، پمپ هیدرولیک و شیر کنترل فشار حالت‌های خرابی‌شان در اولویت اول برای اقدامات کنترلی و اصلاحی قرار دارد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که روش FMEA فازی می‌تواند شکست را در سیستم هیدرولیک ماشین CNC تراش به خوبی اولویت بندی کند و موجب افزایش قابلیت اطمینان در عملکرد این سیستم شود.

۵. قدردانی

ما نویسندگان این پژوهش بر خود لازم می‌دانیم که از جناب آقای مهندس نمازی مدیر عامل محترم، آقای مهندس اکبریور مدیر تولید و جناب آقای دولت دوست و دیگر اعضای تیم نگهداری و تعمیرات شرکت کیهان صنعت قائم بابت فرصتی که جهت انجام این پژوهش در اختیار ما قرار دادند، نهایت تشکر و قدر دانی را بنماییم که حقیقتاً بدون کمک این عزیزان امکان انجام این تحقیق میسر نبود.

۶. مراجع

1. Salvi, R.K., 2017. Failure Mode and Effect Analysis for CNC machines used in GG Valves Industry. MPUAT, Udaipur.
2. Win, Z. E. E., Win Jr, T. N., & Winn, S. L. (2008). Design of Hydraulic Circuit for CNC Lathe Machine Converted from Conventional Lathe Machine. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 18, 401-405.
3. Gupta, G., & Mishra, R. P. (2017). A Failure Mode Effect and Criticality Analysis of Conventional Milling Machine Using Fuzzy Logic: Case Study of RCM. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(2), 347-356.
4. Baig, M. H. A., & Prasanthi, S. G. (2012). Failure mode and effect analysis of a mechanical assembly by using Mil-Std 1629a method. *International Journal of Advanced Information Science and Technology*, 13(13) (IJAIST, ISSN: 2319: 2682).
5. Keskin, G. A., & Özkan, C. (2009). An alternative evaluation of FMEA: fuzzy ART algorithm. *Quality and Reliability Engineering International*, 25(6), 647-661.
6. Mandal, S., & Maiti, J. (2014). Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3527-3537.
7. Chanamool, N., & Naenna, T. (2016). Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department. *Applied Soft Computing*, 43, 441-453.
8. Price, C. J., Snooke, N. A., & Lewis, S. D. (2006). A layered approach to automated electrical safety analysis in automotive environments. *Computers in Industry*, 57(5), 451-461.
9. Yang, J., Huang, H. Z., He, L. P., Zhu, S. P., & Wen, D. (2011). Risk evaluation in failure mode and effects analysis of aircraft turbine rotor blades using Dempster-Shafer evidence theory under uncertainty. *Engineering Failure Analysis*, 18(8), 2084-2092.
10. Degu, Y. M., & Moorthy, R. S. (2014). Implementation of Machinery Failure Mode and Effect Analysis in Amhara Pipe Factory PLC, Bahir Dar, Ethiopia. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 3(1), 57-63.
11. Whiteley, M., Fly, A., Leigh, J., Dunnett, S., & Jackson, L. (2015). Advanced reliability analysis of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells using Petri-Net analysis and fuel cell modelling techniques. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(35), 11550-11558.



12. Dağsuyu, C., Göçmen, E., Narlı, M., & Kokangül, A. (2016). Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 286-294.
13. Jiang, S., & Guoqing, L. (2008). The FMEA method in large space environment simulators [J]. *Spacecraft Environment Engineering*, 4, 034.
14. Wang, X., Zhang, Y., & Shen, G. (2016). An improved FMECA for feed system of CNC machining center based on ICR and DEMATEL method. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(1-4), 43-54.
15. Li, H., Chen, F., Yang, Z., Wang, L., & Kan, Y. (2016). Failure Mode Analysis on Machining Center Based on Possibility Theory. In *Proceedings of the 5th International Conference on Electrical Engineering and Automatic Control* (pp. 627-636). Springer Berlin Heidelberg.
16. Zhang, Z., & Chu, X. (2011). Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty. *Expert Systems with Applications*, 38(1), 206-214.
۱۷. خشا، ر.؛ سپهری، م.م.؛ خطیبی، ت. و سروش، ا. (۱۳۹۲). " کاربرد FMEA فازی برای بهبود گردش کار در اتاق های عمل، " نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۴۷، شماره ۲، دانشگاه تهران، ۱۳۵-۱۴۷.
18. Zadeh, L. A. (1965). Information and control. *Fuzzy sets*, 8(3), 338-353.
19. Markowski, A. S., Mannan, M. S., & Bigoszevska, A. (2009). Fuzzy logic for process safety analysis. *Journal of loss prevention in the process industries*, 22(6), 695-702.
20. Chang, C. L., Wei, C. C., & Lee, Y. H. (1999). Failure mode and effects analysis using fuzzy method and grey theory. *Kybernetes*, 28(9), 1072-1080.
21. Xu, K., Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L., & Zhu, M. L. (2002). Fuzzy assessment of FMEA for engine systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 75(1), 17-29.
22. Lertworasirikul, S., Fang, S. C., Joines, J. A., & Nuttle, H. L. (2003). Fuzzy data envelopment analysis (DEA): a possibility approach. *Fuzzy sets and Systems*, 139(2), 379-394.
23. Zafiroopoulos, E. P., & Dialynas, E. N. (2005). Reliability prediction and failure mode effects and criticality analysis (FMECA) of electronic devices using fuzzy logic. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(2), 183-200.
24. Zhou, Q., & Thai, V. V. (2016). Fuzzy and grey theories in failure mode and effect analysis for tanker equipment failure prediction. *Safety science*, 83, 74-79.
25. Yazdi, M., Daneshvar, S., & Setareh, H. (2017). An extension to fuzzy developed failure mode and effects analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system. *Safety science*, 98, 113-123.
26. Yang, Z., Xu, B., Chen, F., Hao, Q., Zhu, X., & Jia, Y. (2010, June). A new failure mode and effects analysis model of CNC machine tool using fuzzy theory. In *Information and Automation (ICIA), 2010 IEEE International Conference on* (pp. 582-587). IEEE.
27. Gupta, G., Mishra, R. P., & Singhvi, P. (2016). An Application of Reliability Centered Maintenance Using RPN Mean and Range on Conventional Lathe Machine. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, 23(06), 1640010.
28. Chiozza, M. L., & Ponzetti, C. (2009). FMEA: a model for reducing medical errors. *Clinica Chimica Acta*, 404(1), 75-78.
29. Kumru, M., & Kumru, P. Y. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Applied Soft Computing*, 13(1), 721-733.