

اولویت‌بندی و ارزیابی خرابی‌های اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC مبتنی بر رویکرد FMEA فازی

علی ویسی^۱ - عباس روحانی^{۲*} - محمد طبسی زاده^۳ - رسول خدابخشیان^۳ - فرهاد کلاهان^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۵

چکیده

شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک، روشی سازمان‌یافته نظام‌مند برای اولویت‌بندی ریسک‌ها و تصمیم‌گیری در راستای کاهش 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. با توجه به حجم وسیع کاربرد فرآیندهای ماشین‌کاری با CNC در صنایع قطعه‌سازی به‌ویژه ماشین‌های کشاورزی، مطالعه پیرامون تحلیل ریسک و مدیریت آن یک الزام مهم به‌شمار می‌رود. لذا این پژوهش با هدف شناسایی و اولویت‌بندی عوامل شکست اجزای مکانیک ماشین CNC که موجب وقفه در عملکرد آن می‌شوند انجام گرفت. در این پژوهش از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی و اثرات آن (FMEA) در دو حالت مرسوم و فازی برای ارزیابی ریسک اجزای مکانیک ماشین تراش CNC استفاده و نتایج آن‌ها مقایسه شد. طبق نظرات کارشناسان برای اجزای مکانیک ماشین CNC تراش در مجموع ۷ سیستم مهم و ۳۰ زیر سیستم وجود دارد که حالت‌های خرابی عمدتاً در آن‌ها اتفاق می‌افتد. پس از ارزیابی مشخص شد که ۲ سیستم اجزای محور و روان‌کاری حالت‌های خرابی‌شان در اولویت اول برای اقدامات کنترلی و اصلاحی قرار دارد. نتایج نشان داد رتبه‌بندی دقیق‌تر در روش FMEA فازی موجب بهبود اولویت‌بندی شده و در نتیجه بستر مناسب‌تری برای برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، FMEA فازی، ماشین CNC، مدیریت ریسک

مقدمه

ماشین‌کاری از زبان جی کد برای کنترل دقیق ویژگی‌هایی همچون سرعت، موقعیت، هماهنگی و میزان تغذیه استفاده می‌شود (Chiu and Lee, 2017). ماشین تراش CNC نوعی از ماشین‌های CNC است که در طول سال‌های گذشته به علت انعطاف‌پذیری ذاتی، دقت ماشین‌کاری و بهره‌وری بالا به‌طور فزاینده‌ای در فرآیند ماشین‌کاری مورد استفاده قرار گرفته و تکنولوژی‌های آن توسط محققان در سراسر جهان مطالعه و ترویج شده است. وقوع شکست در زیر سیستم‌های تراش CNC موجب توقف کار دستگاه و در نتیجه تولید، افزایش هزینه، دشوارتر شدن تعمیر و مشکلات فراوان در بعد ایمنی تولید می‌شود (Lata et al., 2016). همچنین در سال‌های اخیر، با توسعه محصولات با کارایی و دقت بالا، خواسته‌های بیشتری در ویژگی‌های ماشین ابزار CNC به‌وجود آمده، بنابراین ممکن است حالت‌های شکست بیشتری با ساختار پیچیده و چندمنظوره ایجاد شود. در نتیجه، اهمیت قابلیت اطمینان ماشین ابزار CNC، توجه شرکت‌ها و مؤسسات را به تحقیق در مورد قابلیت اطمینان تجهیزات ماشین‌های CNC معطوف کرده (Yang et al., 2010). با توجه به هدف اصلی نگهداری و تعمیرات مبنی بر کاهش ریسک و مدیریت عملکرد تجهیز

امروزه جامعه تولیدی در حال پیگیری مداوم بهبود کیفیت محصولات است. در گذشته اکثر فرآیندهای ماشین‌کاری به صورت دستی انجام می‌شد، اما اکنون با دستگاه‌های کنترل عددی کامپیوتری^۴ (CNC) انجام می‌شود. این ماشین از کنترل عددی کامپیوتری برای کنترل ابزارهای ماشین مانند تراش، برش، سنگ‌زنی و فرز با هدف خودکارسازی فرآیند ماشین‌کاری استفاده می‌کند. این دستگاه‌ها به لحاظ نوع نرم‌افزاری که برای کنترل دستگاه استفاده می‌شود با کامپیوترهای شخصی متفاوت است. غالباً در دستگاه‌های

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

۲- دانشیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

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

(Email: arohani@um.ac.ir)

*- نویسنده مسئول

DOI: 10.22067/jam.v9i2.73103

4- Computer Numerical Control

عدد ریسک بوده و به لحاظ بحرانی بودن دارای اولویت می‌باشد (Kamalnia and Amjad Sardroodi, 2011).

اگرچه روش FMEA متداول به‌طور گسترده در منابع تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است. اما به دلیل روشی که برای محاسبه شاخص عدد اولویت ریسک دارد همواره مورد انتقاد محققان است. مهم‌ترین ناکارآمدی‌های این روش به شرح زیر است؛ ۱- مقادیر متغیرهای ورودی این روش اغلب براساس تجربیات تیم‌کاری و قضاوت خبرگان به‌دست می‌آید، که این امر موجب ایجاد تناقضات و اشتباهات در امر قضاوت خواهد شد. ۲- ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی ممکن است مقادیر یکسانی برای RPN داشته باشند، در صورتی که ممکن است مفاهیم خطر کاملاً متفاوتی از یک‌دیگر داشته باشند. ۳- در روش متداول فرض بر این است که پارامترهای ورودی اهمیت نسبی یکسانی دارند. در صورتی که در واقعیت، درجه اهمیت و وزن این پارامترها می‌تواند متفاوت باشد. ۴- روش محاسبه نمره اولویت ریسک تنها حاصل ضرب مستقیم ورودی را در نظر گرفته و روابط غیرمستقیم بین متغیرها را مد نظر قرار نمی‌دهد. از این رو با توجه به مشکلات و ناکارآمدی رویکرد سنتی، تحقیقات بسیاری با هدف توسعه و بهبود این روش انجام شده است. یکی از راه‌حل‌های موجود برای رفع این ناکارآمدی‌ها، ترکیب این رویکرد با منطق فازی که تحت عنوان الگوریتم Fuzzy-FMEA نام دارد، می‌باشد (Dağsuyu *et al.*, 2016). منطق فازی رویکردی است مناسب برای مواردی که داده کافی در دسترس نیست، جمع‌آوری داده مشکل یا داده‌ها به‌صورت متغیرهای زبانی و ذهنی می‌باشند.

در بخش ارزیابی سیستم‌ها، روش FMEA فازی با محاسبه RPN برای حذف نقص‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت FMEA فازی و اثرات آن تاکنون، مطالعات بسیاری با استفاده از این روش در زمینه‌های مختلف برای جلوگیری از وقوع خرابی و کاهش آسیب ناشی از آن انجام شده است. به‌طور مثال؛ تحقیق در مورد تجهیزات سیستم‌های هواپیمایی (Yazdi *et al.*, 2017)، سیستم‌های مهندسی هسته‌ای (Guimarães and Lapa, 2007)، صنایع نظامی (Shukla *et al.*, 2014)، صنایع نفت و گاز (Shahriar *et al.*, 2012)، صنایع فولاد (Ebrahemzadiah *et al.*, 2014)، صنایع خودروسازی (Chin *et al.*, 2008)، تجهیزات پزشکی (Chanamool and Naenna, 2016). درخصوص ماشین‌های CNC که موضوع تحقیق حاضر می‌باشد، یانگ و همکاران (۲۰۱۰)، از مدل FMECA^۱ با استفاده از تئوری فازی برای تحلیل خرابی‌های نوعی ماشین تراش CNC استفاده کردند. نتایج نشان داد که به‌کاربردن روش FMEA فازی در تراش CNC یک روش مناسب و متناظر با تولید است و پایه اعتبار برای ساخت مدل طراحی قابلیت

در طی چرخه عمر آن به نحوی که قابلیت اطمینان سیستم افزایش و هزینه‌های اجرایی آن کاهش یابد، به همین منظور باید رویکردی مناسب برای بهره‌برداری و نگهداری از تجهیز اتخاذ کرد. یکی از رویکردها تعمیرات پیش‌اقدام است که لازمه آن شناخت درست تمامی حالات شکست از طریق تجزیه و تحلیل حالات خرابی و آثار آن (FMEA) است. این شناخت کمک می‌کند که پیامدهای حالات شکست مورد بررسی قرار گرفته و با اولویت‌بندی حالات خرابی و تعیین بحرانی‌ترین حالت نسبت به پیش‌بینی، پیشگیری و انجام اقدامات اصلاحی اقدام شود. روش FMEA یکی از بهترین روش‌ها در تجزیه و تحلیل سیستم‌ها، به‌خصوص زمانی که سیستم‌ها پیچیده و دارای بخش‌های بسیاری هستند، می‌باشد. این روش کمک می‌کند تا نگهداری را در حالت‌های شکست مورد نظر هدایت کرده و باعث جلوگیری از علل شکست بحرانی شود (Gupta and Mishra, 2017). از سوی دیگر پیاده‌سازی روش FMEA می‌تواند نقش مهمی در تعیین پیامدهای علل خرابی و نیز فراهم آوردن فعالیت‌های نگهداری بهینه که در نهایت بر بهبود سیستم‌های نگهداری تجهیزات تأثیر می‌گذارد داشته باشد (Mandal and Maiti, 2014). در FMEA باید تمام حالت‌های خرابی احتمالی سیستم شناسایی و برای تمام حالت‌ها سه پارامتر تعیین‌کننده عدد ریسک (RPN) یعنی شدت وقوع (S)، احتمال وقوع (O) و عدم تشخیص (D) را تعیین کنیم. در این روش هدف اولویت‌بندی حالت‌های خرابی سیستم به‌منظور اختصاص منابع محدود به بحرانی‌ترین خطر در سیستم است. در روش FMEA شاخص RPN، سطح مربوط به وقوع یک خرابی را که مناسب و سازگار نیست بیان می‌کند. این شاخص به دلیل پذیرش معیارهای احتمال وقوع، مشخصه شدت و توانایی تشخیص مشکلات در بسیاری از صنایع‌های مختلف استفاده می‌شود (Liu *et al.*, 2013). از روش FMEA در حوزه‌های مختلف تحقیقاتی مثل کشاورزی و صنعت استفاده شده؛ مانند استفاده از روش FMEA به منظور انجام شخم مطلوب با گاواهن برگردان‌دار که توسط نامداری و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد. نتایج نشان داد بزرگ بودن قطر متوسط وزنی کلوخه‌ها، ناشی از عوامل مدیریتی تأثیرگذاری مانند، رطوبت کم، سرعت پیشروی کم و عمق شخم زیاد می‌باشد که به‌ترتیب دارای بالاترین عدد اولویت ریسک می‌باشند (Namdari *et al.*, 2011)، همچنین در تحقیق دیگری که روی ارزیابی ریسک ماشین تراش در واحدهای تولید صنعتی انجام شد، ضمن ارزیابی عدد RPN برای اجزاء، نتایج نشان داد در ماشین تراش نظام وسط دارای بالاترین

1- Failure mode and effect analysis

2- Risk priority number

3- Severity

4- Occurrence

5- Detection

6- Failure mode, effects, and criticality analysis

اطمینان از فاکتورهای ریسک، از روش فازی برای اولویت‌بندی حالت‌های خرابی تجهیز و با هدف ارزیابی دقیق ریسک استفاده شد.

مواد و روش‌ها

FMEA روشی مناسبی برای شناسایی و از بین بردن خرابی‌های بالقوه، بهبود قابلیت اطمینان، افزایش ایمنی سیستم و ارائه اطلاعات جهت تعیین تصمیمات مدیریت ریسک می‌باشد (Karbasian et al., 2016). لذا پژوهش حاضر به منظور رتبه‌بندی خرابی‌های اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC با هدف تعیین بحرانی‌ترین عضو با روش‌های FMEA متداول و فازی به صورت میدانی، به کمک تیم نگهداری و تعمیرات شرکت کیهان صنعت قائم واقع در استان خراسان رضوی صورت گرفت، که در ادامه ابتدا شرح مختصری از اجزای مکانیک تشکیل‌دهنده ماشین تراش CNC و نحوه عملکرد آن‌ها سپس به تشریح دو روش متداول و فازی پرداخته خواهد شد.

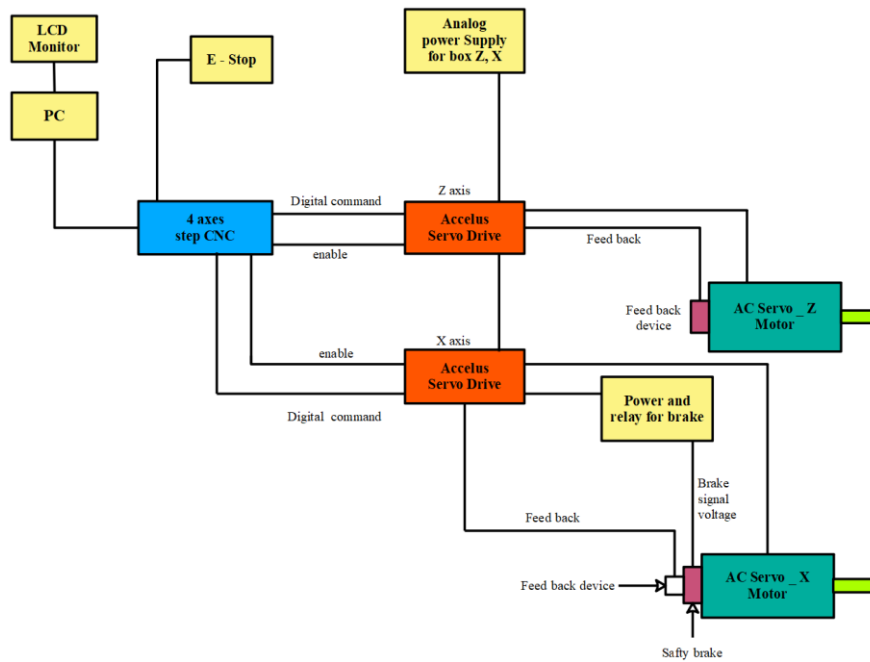
ماشین تراش CNC و نحوه عملکرد آن

ماشین تراش CNC ماشینی است که در آن قطعه کار حرکت دورانی و ابزار حرکت خطی دارد. در این ماشین‌ها عموماً از دو محور X و Z استفاده می‌گردد، که محور Z به‌عنوان محور اولیه (افقی) و محور X به‌عنوان محور ثانویه (عمودی) شناخته می‌شود. ماشین‌های تراش به لحاظ نوع بستر طراحی به دو دسته بستر افقی و بستر شیب‌دار تقسیم می‌شوند. ماشین تراش CNC مورد بررسی در این پژوهش از نوع بستر افقی می‌باشد. شکل ۱ و ۲ بلوک دیاگرام و اجزای مکانیکی داخل ماشین تراش CNC را نشان می‌دهد.

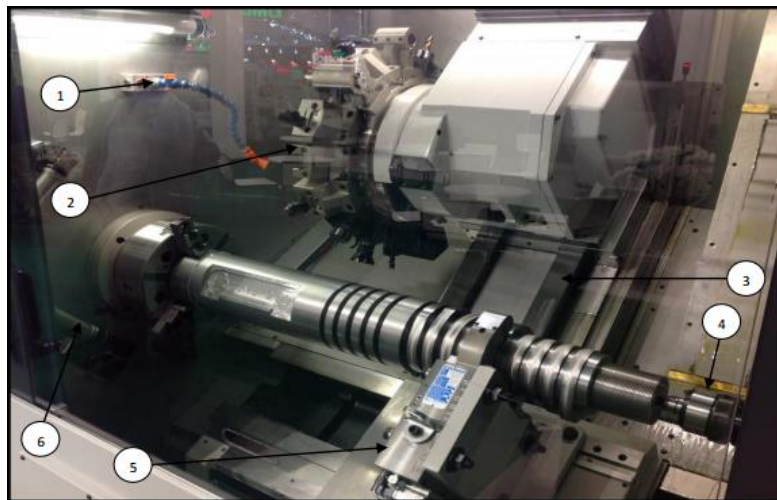
در این مطالعه به منظور ایجاد مدل FMEA فازی برای اولویت‌بندی حالت‌های خرابی اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC تمامی حالت‌های خرابی شناسایی شد. این اجزاء شامل ۷ سیستم اصلی که از ۳۰ زیر سیستم تشکیل شده‌اند. این ۷ سیستم عبارتند از: سیستم هیدرولیک، سیستم پنوماتیک، سیستم تعویض ابزار و ابزارگیر، اجزای محوره‌های Z و X، سیستم روان‌کاری، سیستم خنک‌کاری و سایر ماشین‌افزارها که نمودار درختی آن‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.

اطمینان یا پشتیبانی از طرح‌های کنترل تولید می‌باشد (Yang et al., 2010). لی و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه‌ای روی تجزیه و تحلیل حالت خرابی یک مرکز ماشین‌کاری با هدف در نظر گرفتن عدم قطعیت در قضاوت کارشناسان انجام دادند و از توزیع احتمالی پارامترهای ریسک و تلفیق اطلاعات توزیع احتمالی استفاده و با تحلیل جامع رو پارامترهای ریسک حالت‌های خرابی را رتبه‌بندی کردند (Li et al., 2016). در مطالعه دیگری از روش FMECA برای تجزیه و تحلیل خرابی سیستم تغذیه مراکز ماشین‌کاری CNC استفاده شد (Wang et al., 2016). گوپتا و میسرا (۲۰۱۷)، مطالعه‌ای روی حالت‌های مختلف شکست در دستگاه فرز CNC انجام دادند. آن‌ها در این بررسی علاوه بر مشخص کردن اولویت حالت‌های بحرانی، برای اصلاح و جلوگیری از آن‌ها از استراتژی‌های مختلف نت به منظور برنامه‌ریزی و انجام اقدامات اصلاحی استفاده کردند (Gupta and Mishra, 2017). در سال ۲۰۱۷ از روش FMEA در صنعت سوپاپ‌های GG با هدف آنالیز ماهیت چند رشته‌ای خرابی‌های عملکردی ماشین CNC استفاده شد (Salvi, 2017).

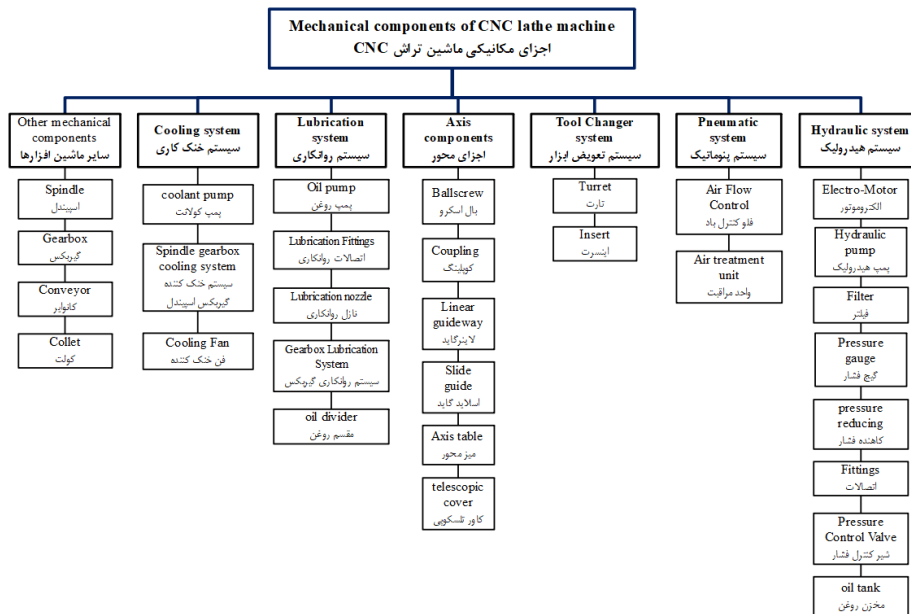
در سال‌های اخیر، با توسعه محصولات صنعتی با کارایی بالا و دقیق، تقاضای استفاده از ماشین‌های CNC افزایش یافته و با پیشرفت تکنولوژی‌های آن حالت‌های خرابی بیشتری با ساختار پیچیده و چند منظوره ایجاد شده است. همچنین ضرورت قابلیت اطمینان ماشین‌های CNC، به دلیل تأثیر آن بر تولید و هزینه‌های اجرایی آن بیش از پیش نمایان شده است. با توجه به هدف کاهش ریسک و مدیریت عملکرد اجزای ماشین CNC به منظور افزایش قابلیت اطمینان و کاهش زمان توقف، شناسایی تمامی حالات شکست و اولویت‌بندی آن‌ها جهت تعیین حالات بحرانی و اتخاذ رویکرد درست تعمیرات پیش‌اقدام از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به مطالعات پیشین FMEA در حوزه ماشین‌های CNC تاکنون تمامی اجزای مکانیکی دستگاه تراش CNC در کنار یک‌دیگر به لحاظ تجزیه و تحلیل حالات خرابی و تعیین بحرانی‌ترین حالت مورد تجزیه و تحلیل قرار نگرفته‌اند، لذا در این پژوهش به صورت جامع تمامی اجزای مکانیکی دستگاه تراش CNC مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با توجه به معایب روش FMEA متداول که ذکر شد و عدم



شکل ۱- بلوک دیاگرام ماشین تراش CNC
Fig. 1. CNC lathe machine block diagram



شکل ۲- اجزای مکانیک داخل ماشین تراش CNC: ۱- سیستم کولانت، ۲- تارت، ۳- ال ام گاید، ۴- مرغک، ۵- کارگیر ۶- سیستم هیدرولیک
Fig. 2. Mechanical parts inside the CNC lathe machine: (1) Coolant system, (2) Turret, (3) LM Guide, (4) Tailstock, (5) Job holder, (6) Hydraulic system



شکل ۳- اجزای مکانیکی ماشین تراش CNC بستر افقی
 Fig. 3. Horizontal CNC lathe mechanical components

طراحی روش فازی

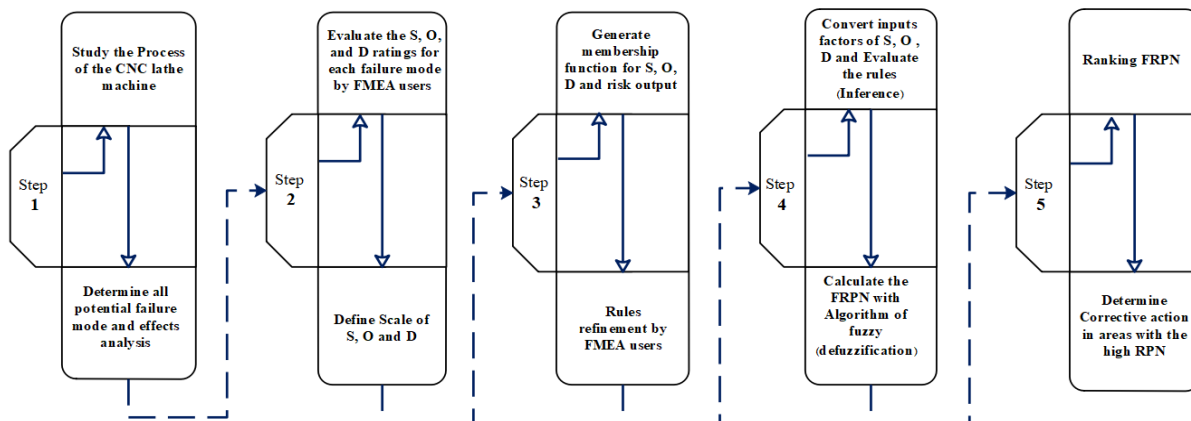
این پژوهش از FMEA فازی که روشی در حوزه برنامه های قابلیت اطمینان است به منظور مشخص کردن ریسک ها در اجزای مکانیک ماشین تراش CNC و تمامی حالت های خرابی بالقوه آن استفاده شد. برای استخراج اطلاعات از متخصصان، عمدتاً از کارشناسان و تحلیلگران ماشین CNC، که اطلاعات دقیقی در مورد فرآیند کار اجزای CNC داشتند استفاده گردید. این کارشناسان با استفاده از عبارت های زبانی پارامترهای S، O و D را اولویت بندی کردند. مراحل انجام روش تحقیق حاضر به طور خلاصه در شکل ۴ ارائه شده است.

روش متداول

در روش FMEA برای محاسبه RPN سه پارامتر کلیدی S، O و D مورد استفاده قرار می گیرد که طبق رابطه (۱) محاسبه می شود.

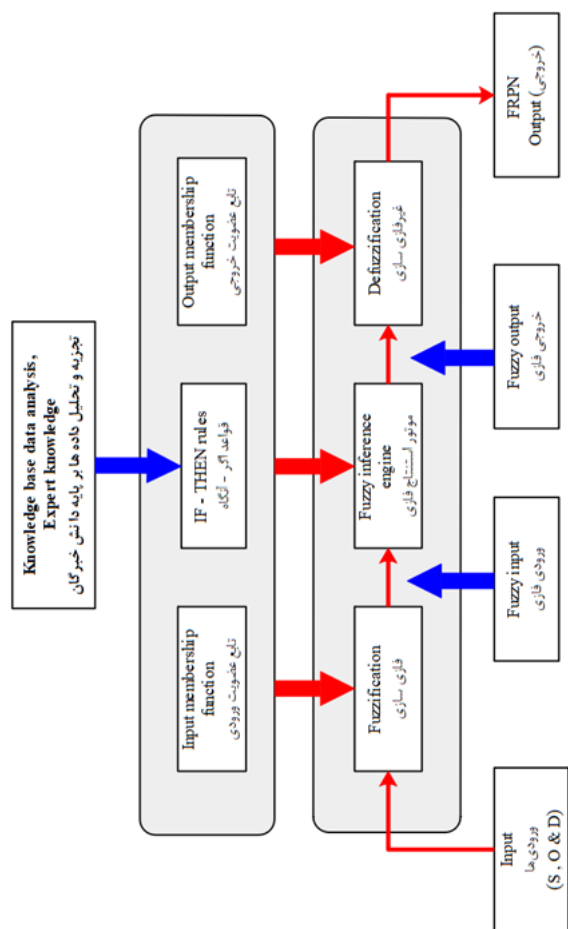
$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

در روش متداول FMEA، پس از محاسبه RPN به اولویت بندی حالت های خرابی می پردازیم. در این روش اهمیت نسبی پارامترهای S، O و D در نظر گرفته نشده و آن ها به یک اندازه مهم در نظر گرفته می شوند، همچنین روابط بین پارامترها مستقیم و خطی در نظر گرفته شده که در واقعیت این گونه نیست. با توجه به ضعف ها و ناکارآمدی های روش FMEA متداول، تحقیقات متعددی با هدف بهبود عملکرد آن انجام شده است. یکی از راه حل های موجود برای رفع این ناکارآمدی، ترکیب این روش با منطق فازی است.



شکل ۴- مراحل انجام روش تحقیق
 Fig. 4. Steps of perform the research method

شماتیکی از فرایند منطق فازی در شکل ۶ نشان داده شده است. کل فرآیند فازی‌سازی با استفاده از جعبه‌ابزار فازی در نرم‌افزار Matlab انجام شد که در آن از تابع عضویت گوسی برای نشان دادن پارامترهای ورودی S، O و D استفاده شد. در شکل ۷ به‌عنوان نمونه تصویر تابع عضویت گوسی برای پارامتر ورودی S نشان داده شده است. همچنین از تابع عضویت گوسی برای نشان دادن تابع عضویت خروجی مربوطه^۲ در شکل ۸ استفاده شد.



شکل ۵- مدل مربوط به سیستم منطق فازی (Panchal and Kumar, 2016)

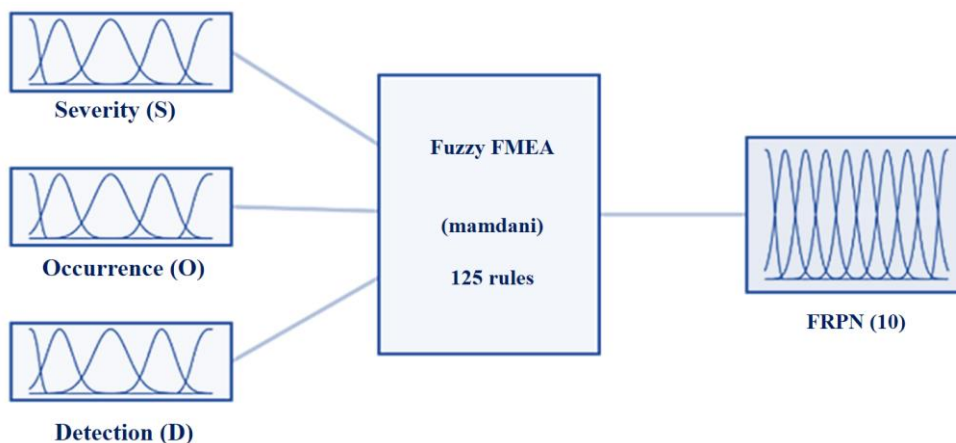
Fig. 5. The model of the fuzzy logic system

مطابق با شکل ۴ روش FMEA فازی در این پژوهش در پنج بخش اجرا شد: (۱) شناسایی فرآیند کار در ماشین تراش CNC و مطالعه و بررسی نحوه عملکرد اجزای آن، همچنین در این مرحله تمامی حالات خرابی اجزای مکانیکی CNC و اثرات آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله (۲) به ارزیابی هر یک از سه پارامتر ریسک برای هر حالت خرابی یا شکست و رتبه بندی آن‌ها می‌پردازیم. برای رتبه بندی با استفاده از داده‌های قطعی^۱ معمولاً از اعداد مقیاس ۱ تا ۱۰ استفاده می‌شود، سپس با استفاده از عبارتهای زبانی مقادیر قطعی به فازی تبدیل می‌شوند (فازی‌سازی). (۳) برای کنترل مقادیر خروجی از ۱۲۵ قاعده برای اصلاح پارامترهای ورودی استفاده شد (استنتاج). (۴) برای تبدیل پارامترهای ورودی به مقادیر فازی و انتقال قواعد کیفی به نتایج کمی از الگوریتم استنتاج فازی ممدانی استفاده شد (استنتاج). در ادامه مقادیر خروجی استنتاج را به RPN فازی تبدیل می‌کنیم (غیرفازی‌سازی). در مرحله پایانی (۵) RPN خروجی را که با الگوریتم فازی محاسبه شده و غیرفازی گشته را رتبه‌بندی می‌کنیم و اقدامات اصلاحی را برای RPNهای سطح بالا تعیین می‌کنیم. در این روش ابتدا داده‌های ورودی قطعی با استفاده از متغیرهای زبانی و تابع عضویت به مقادیر فازی تبدیل می‌شوند که اصطلاحاً به این مرحله فازی‌سازی می‌گویند. سپس در سیستم منطق فازی قواعدی در نظر گرفته می‌شود که به‌عنوان هسته استنتاج فرآیند می‌باشد. استنتاج بستگی به تنظیم قواعد برای ارزیابی قواعد و ترکیب نتایج تصمیم‌های سیستم دارد. در پایان مرحله غیرفازی‌سازی قرار دارد که مقادیر فازی به مقادیر قطعی تبدیل می‌شوند. شماتیک مدل فازی در شکل ۵ نشان داده شده است.

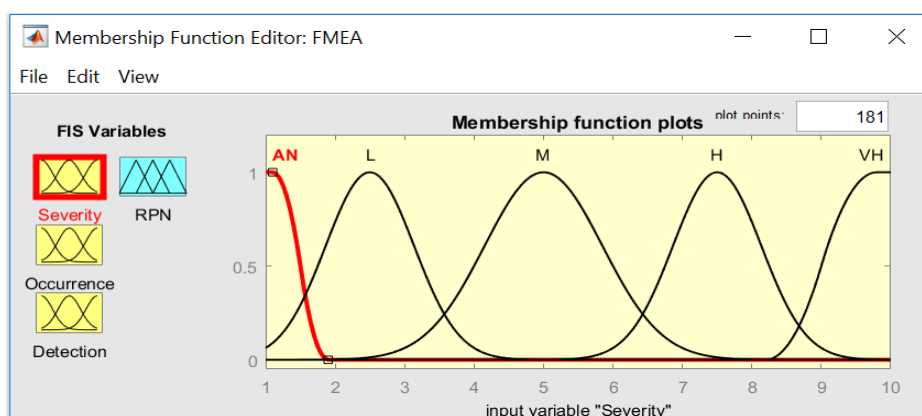
در این پژوهش برای بهبود کار و به‌دست آوردن نتایج درست در مجموعه صنعتی کیهان صنعت قائم مدیریت تولید، پشتیبانی و حمایت لازم را انجام داد، کارشناسان و متخصصین آشنا با ماشین‌های CNC هم با تیم FMEA همفکری کردند. تیم FMEA که عموماً از متخصصان ساخت، تعمیر و تحلیل‌گران ایمنی ماشین‌های CNC بودند با استفاده از عبارتهای زبانی، S، O و D را برای حالت‌های خرابی اجزاء تعیین کردند. اعضای تیم کاربرگ FMEA را برای هر زیر سیستم تکمیل و هر شکست را با توجه به حساسیت اثر شکست و احتمال وقوع آن با استفاده از RPN رتبه‌بندی کردند. در ادامه قواعد اگر-آنگاه با عبارتهای زبانی به‌عنوان ورودی‌های ارزیابی ریسک در نظر گرفته شد. عدد RPN فازی به‌دست آمده به‌عنوان خروجی استنتاج فازی سیستم که بر پایه قواعد می‌باشد در نظر گرفته شد. جدول ۱ مقادیر مختلفی را برای تعیین مقیاس پارامترهای S، O و D نشان می‌دهد (Renjith et al., 2018). با استفاده از این مقیاس‌ها می‌توان پارامترهای S، O و D را اندازه‌گیری کرد.

جدول ۱- متغیرهای زبانی تعریف شده در روش FMEA فازی
Table 1- Linguistic variable define in fuzzy FMEA method

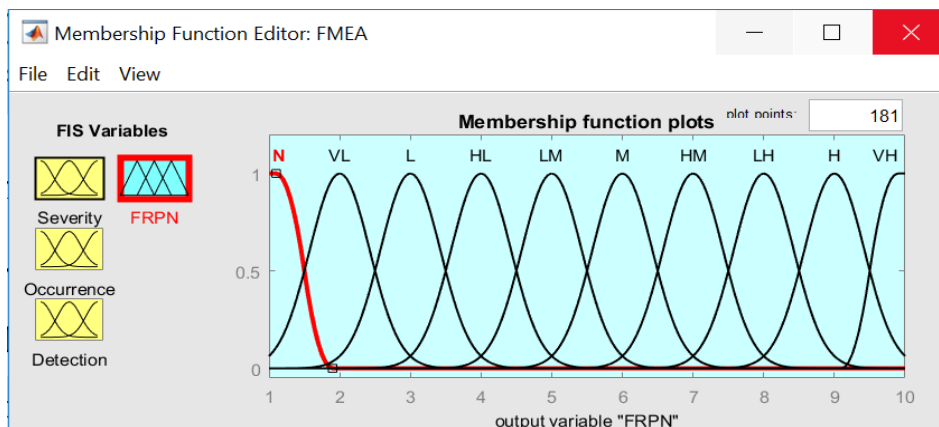
عدم تشخیص Detection	احتمال وقوع Occurrence	شدت Severity	عدد فازی Fuzzy number	متغیرهای زبانی Linguistic variables
تقریباً مطمئن Almost certainty	شکست بعید است Failure is unlikely	بی خطر Not hazard	1, 2	خیلی کم Very Low (VL)
شانس بالا High chance	شکست نسبتاً کم Relatively few failures	خطر کم Low hazard	3, 4	کم Low (L)
شانس متوسط Moderate chance	شکست در بعضی اوقات Occasional failures	خطر متوسط Medium hazard	5, 6, 7	متوسط Medium (M)
شانس کم Remote chance	شکست‌های تکراری Repeated failures	خطر بالا High hazard	8, 9	زیاد High (H)
شانسی وجود ندارد No chance	شکست تقریباً اجتناب ناپذیر است Failure is almost inevitable	خطر بسیار بالا Very high hazard	10	خیلی زیاد Very high (VH)



شکل ۶- مدل FMEA فازی
Fig. 6. Fuzzy FMEA model



شکل ۷- تابع عضویت گوسی برای متغیر ورودی شدت
Fig. 7. Gaussian Membership functions for input variable 'Severity'

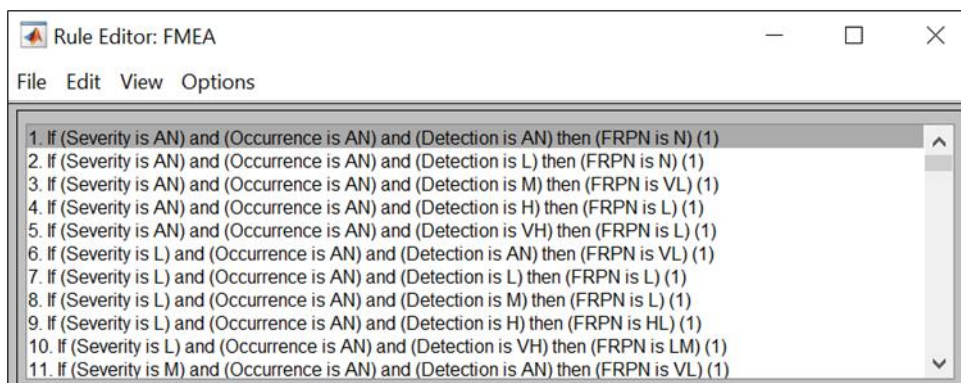


شکل ۸- تابع عضویت گوسی برای متغیر خروجی FRPN

Fig. 8. Gaussian Membership functions for output variable 'FRPN'

از قواعدی به منظور کنترل مقادیر FRPN خروجی ایجاد شده نشان داده شده است.

از قوانین برای استنتاج فازی و هدایت مقدار خروجی دریافتی استفاده می‌شود. همچنین این روش در فرآیند غیرفازی‌سازی برای تبدیل خروجی‌های فازی به FRPN به کار رفت. در شکل ۹ چند مورد



شکل ۹- ایجاد قواعد به منظور کنترل مقادیر FRPN خروجی

Fig. 9. Creating rules used to control the output FRPN values

حالت‌های ممکن ترکیب S، O و D باشد. پایگاه قواعد ایجاد شده برای ارتباط S، O و D به FRPN در جدول ۲ ارائه شده است. برای استنتاج فازی از روش حداقل/ حداکثر ممدانی استفاده شد. همانطور که ملاحظه شد با دریافت مقادیر جبری سه پارامتر S، O و D انجام محاسبات فازی بر اساس ۱۲۵ قاعده فازی مقادیر RPN فازی در خروجی و سپس غیر فازی‌سازی آن را انجام گرفت.

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 S، O و D در یکدیگر به دست آورد. در این پژوهش تعداد قواعد مورد استفاده برابر، $5 \times 5 \times 5 = 125$ 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 گردید (Chanamool and Naenna, 2016). ۱۲۵ قاعده اگر - آنگاه برای تجزیه و تحلیل ایجاد شد. این قوانین به گونه‌ای طراحی شده که شامل تمامی

جدول ۲- پایگاه قواعد ایجاد شده برای ارتباط S, O و D به FRPN با استفاده از استنباط متخصصان

Table 2- Rule base developed for relating S, O & D to FRPN using expert elicitation

S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN	S	O	D	FRPN
1	1	1	1	2	1	1	1	3	1	1	2	4	1	1	1	5	1	1	2
1	1	2	1	2	1	2	1	3	1	2	2	4	1	2	2	5	1	2	2
1	1	3	2	2	1	3	2	3	1	3	3	4	1	3	3	5	1	3	3
1	1	4	3	2	1	4	3	3	1	4	4	4	1	4	4	5	1	4	3
1	1	5	3	2	1	5	3	3	1	5	5	4	1	5	1	5	1	5	4
1	2	1	2	2	2	1	2	3	2	1	3	4	2	1	2	5	2	1	3
1	2	2	3	2	2	2	3	3	2	2	4	4	2	2	3	5	2	2	4
1	2	3	3	2	2	3	4	3	2	3	5	4	2	3	4	5	2	3	4
1	2	4	4	2	2	4	5	3	2	4	6	4	2	4	1	5	2	4	5
1	2	5	5	2	2	5	6	3	2	5	7	4	2	5	2	5	2	5	6
1	3	1	2	2	3	1	4	3	3	1	5	4	3	1	3	5	3	1	4
1	3	2	3	2	3	2	5	3	3	2	6	4	3	2	4	5	3	2	4
1	3	3	3	2	3	3	6	3	3	3	7	4	3	3	5	5	3	3	5
1	3	4	4	2	3	4	7	3	3	4	8	4	3	4	6	5	3	4	6
1	3	5	4	2	3	5	8	3	3	5	9	4	3	5	7	5	3	5	7
1	4	1	3	2	4	1	5	3	4	1	3	4	4	1	5	5	4	1	5
1	4	2	4	2	4	2	6	3	4	2	4	4	4	2	6	5	4	2	6
1	4	3	5	2	4	3	7	3	4	3	5	4	4	3	7	5	4	3	7
1	4	4	6	2	4	4	8	3	4	4	7	4	4	4	8	5	4	4	8
1	4	5	7	2	4	5	9	3	4	5	8	4	4	5	9	5	4	5	9
1	5	1	4	2	5	1	5	3	5	1	8	4	5	1	6	5	5	1	7
1	5	2	5	2	5	2	5	3	5	2	6	4	5	2	7	5	5	2	8
1	5	3	6	2	5	3	6	3	5	3	7	4	5	3	8	5	5	3	9
1	5	4	7	2	5	4	9	3	5	4	8	4	5	4	9	5	5	4	10
1	5	5	9	2	5	5	9	3	5	5	9	4	5	5	10	5	5	5	10

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

Almost none: 1, Low: 2, Medium: 3, High: 4, Very high: 5

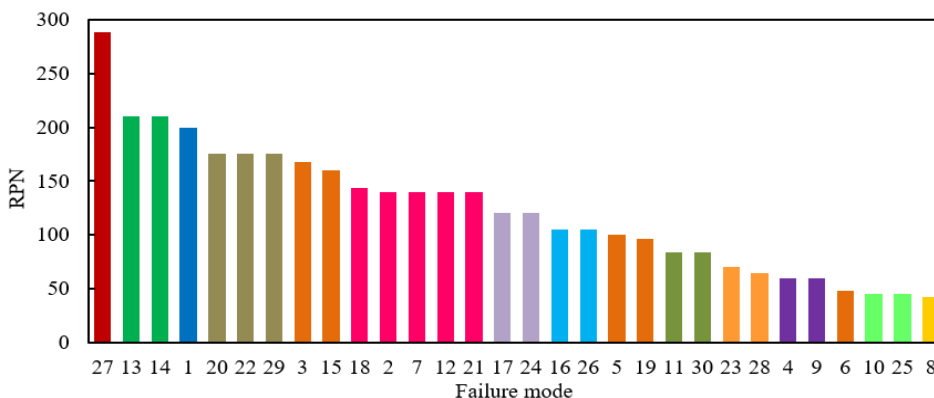
None: 1, Very low: 2, Low: 3, High low: 4, Low medium: 5, Medium: 6, High medium: 7, Low High: 8, High: 9, Very High: 10

نتایج و بحث

روش FMEA متداول

در روش متداول FMEA اولویت‌بندی خرابی‌ها پس از محاسبه عدد RPN انجام شد. نتایج اولویت‌بندی RPN‌های روش متداول در شکل ۱۰ نشان داده شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود ترکیبات مختلف متغیرهای ورودی در زیر سیستم‌ها دارای RPN برابر است که با رنگ‌های یکسان نشان داده شده، در صورتی که ممکن است مفاهیم خطر کاملاً متفاوتی از یکدیگر داشته باشند. در روش متداول پارامترهای ورودی با اهمیت نسبی یکسانی در نظر گرفته

شده، در صورتی که در واقعیت، درجه اهمیت و وزن این پارامترها می‌تواند متفاوت باشد. همچنین در این رویکرد روش محاسبه نمره اولویت ریسک تنها حاصلضرب مستقیم ورودی می‌باشد و روابط غیرمستقیم بین متغیرها را مد نظر قرار نمی‌دهد، این موارد از ضعف‌های این روش می‌باشند. نتایج این پژوهش در این قسمت با نتایج لیو و همکاران (۲۰۱۳)، که دریافتند ترکیب‌های مختلف سه پارامتر ممکن است مقدار RPN دقیقاً یکسانی تولید کند، در حالی که احتمال دارد عملکردهای ریسک در کل متفاوت باشد همخوانی دارد.



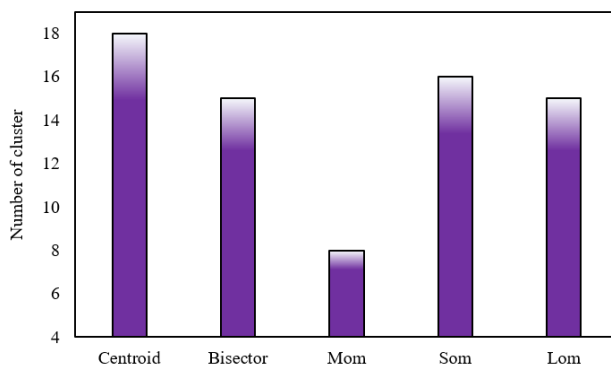
شکل ۱۰- نمودار اولویت بندی اجزای مکانیکی تراش CNC با استفاده از روش FMEA متداول

Fig. 10. Prioritization plot of CNC lathe machine components using conventional FMEA method

روش FMEA فازی

نتایج غیرفازی سازی مقادیر خروجی سیستم فازی (FRPN) با استفاده از ۵ روش غیرفازی سازی در شکل ۱۱ ارائه شده است.

مطابق با شکل ۱۱ روش centroid به دلیل اینکه توانسته زیر سیستمها را در ۱۸ گروه ریسکی گروه بندی کند، در مقایسه با نتایج سایر روشها به عنوان بهترین روش غیرفازی سازی انتخاب شد.



شکل ۱۱- نمودار مقایسه انواع روشهای مختلف غیرفازی سازی

Fig. 11. Comparison plot of different types defuzzification methods

در ادامه برای انتخاب بهترین تابع عضویت برای پارامترهای S، D، O و مقدار خروجی FRPN، ترکیبهای مختلفی از تابع عضویتها استفاده شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق با نتایج جدول ۳، تنها زمانی می توان ۳۰ زیر سیستم را در ۳۰

گروه ریسکی گروه بندی کرد که برای تمام پارامترها و مقدار خروجی از تابع عضویت گوسی استفاده کنیم و این بهترین ترکیب برای تابع عضویت می باشد.

جدول ۳- ترکیبهای مختلف تابع عضویتها برای پارامترهای S، O، D و مقدار خروجی FRPN

Table 3- Different blends of membership function for S, O and D parameters and FRPN output values

Severity	Occurrence	Detection	FRPN	Number of cluster
Trimf	Trimf	Trimf	Trimf	18
Gbellmf	Trimf	Trimf	Trimf	28
Trimf	Gbellmf	Trimf	Trimf	24
Trimf	Trimf	Gbellmf	Trimf	29
Trimf	Trimf	Trimf	Gbellmf	18
Gaussmf	Trimf	Trimf	Trimf	28
Trimf	Gaussmf	Trimf	Trimf	25
Trimf	Trimf	Gaussmf	Trimf	27
Trimf	Trimf	Trimf	Gaussmf	18
Gaussmf	Gaussmf	Gaussmf	Gaussmf	30
Gbellmf	Gbellmf	Gbellmf	Gbellmf	26
Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	28
Pimf	Pimf	Pimf	Pimf	16

روغن کاری به موقع و مناسب، اتمام عمر کارکردی، فشار مضاعف کارکردی، فرسودگی، خوردگی و عدم نظافت کاری مناسب می‌باشد. این نتیجه با نتایج تحقیقات محققان مختلفی همچون (Mishra *et al.*, 2017)، (Salvi, 2017) و (Yang *et al.*, 2010) همخوانی دارد.

نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش FMEA فازی برای اجزای مکانیکی ماشین تراش دو محوره CNC در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد زیرسیستم‌های ۲۷، ۱۴ و ۳ به‌ترتیب دارای بالاترین درجه بحرانبیت خرابی می‌باشند. با بررسی علل خرابی مشخص شد که عمده خرابی‌ها در اجزای مکانیکی ناشی از عواملی چون عدم

جدول ۴- FMEA فازی ماشین CNC تراش

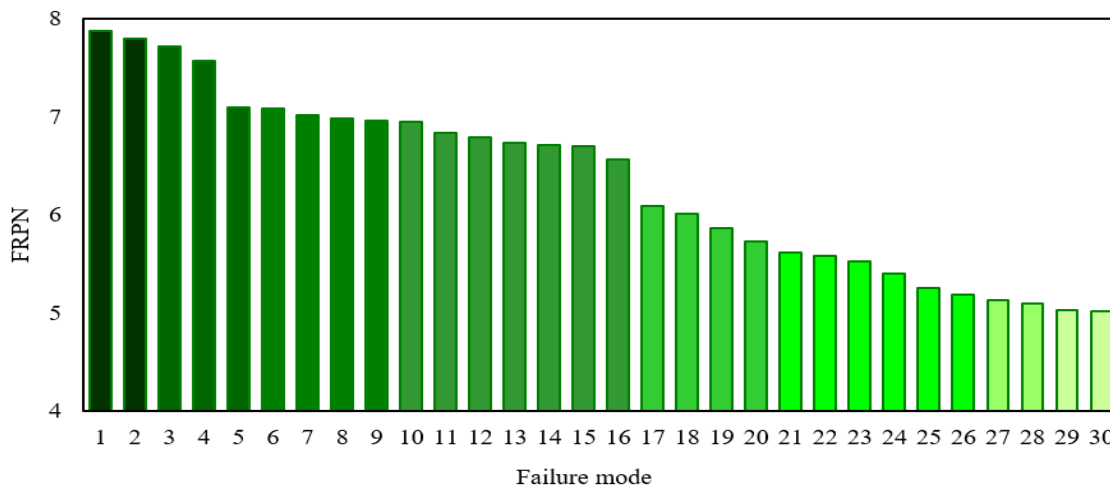
Table 4- Fuzzy FMEA of the CNC lathe machine

NO.	نام قطعه Subsystem	حالات بالقوه خرابی Potential failure modes	علل بالقوه خرابی Potential effect(s) of failure	Fuzzy	
				RPN	Rank
1	الکتروموتور Electro-Motor	صدای غیر عادی، لرزش، آمبر کشیدن زیاد.	خرابی یا سایش شافت، خرابی بلبرینگ، خرابی پروانه خنک‌کننده، گریس کاری به موقع بلبرینگ‌ها.	7.10	5
2	پمپ هیدرولیک Hydraulic pump	افت فشار، صدای غیر عادی.	خرابی کارکردی (عمر)، وجود ذرات در مخزن روغن، استفاده از ماکزیمم فشار پمپ.	6.84	11
3	اتصالات Fittings	هشدار آلارم مربوطه، افت فشار.	اتمام عمر مفید کارکردی.	7.72	3
4	فیلتر Filter	عدم نمایش فشار، گیج از دامنه نشانگر خارج شده باشد.	فشار بیش از حد مجاز، درست نصب نکردن گیج.	5.10	28
5	فشار شکن pressure reducing	در حین تنظیم پیچ تنظیم، تغییر فشار نداریم.	استفاده نادرست از آن.	5.73	20
6	گیج فشار Pressure gauge	نشستی، هرز شدن رزوه در اثر باز و بست زیاد، خرابی ممه‌ای.	باز و بست زیاد بسته به میزان دسترسی، فرسودگی.	5.13	27
7	شیر کنترل فشار Pressure Control Valve	عملکردش دچار نشستی جزئی شده باشد، خرابی بویین برقی.	خرابی فرمان برقی، خرابی اسفول، خرابی اورینگ.	6.95	10
8	مخزن روغن Oil tank	تخلیه روغن، افت فشار روغن، اختلال در عملکرد سیستم.	سورخ بودن مخزن یا بسته بودن مجاری آن، خرابی گیج روغن.	5.03	29
9	فلو کنترل باد Air Flow Control	تأثیر روی قطع کار، در بعضی مواقع موجب توقف دستگاه می‌گردد.	اتمام عمر کارکردی، ذرات وارد مجرا شود.	5.25	25
10	واحد مراقبت Air treatment unit	قطع فشار باد، رطوبت داشتن باد سیستم، افت فشار.	کیفیت پایین جنس، عمر کارکردی تمام شود، رطوبت سیستم زیاد باشد.	5.02	30
11	تارت Turret	اختلال در چرخش و نگهداشتن اینسرت	فرسودگی، اتمام عمر کارکردی، برخور با تجهیزاتی مانند اکسپنشن و ماندریل.	5.40	24
12	بال اسکرو Ball screw	عدم کیفیت قطعه به لحاظ ابعادی و صافی سطح.	عدم روغن کاری و گریس کاری به موقع، فشار بیش از حد ماشین کاری، برخورد محور با قطعه کار دستگاه.	6.96	19
13	کوپلینگ Coupling	تغییر در اندازه قطعه کار.	فشار مضاعف کارکردی، خرابی لاستیک‌های کوپلینگ، خرابی پنجه‌ای.	6.98	8
14	لاینر گاید Linear guideway	دقت دستگاه کاهش می‌یابد، ارتعاش و لرزش محورها.	ورود ذرات و پلیسه به داخل آن، عدم روغن کاری و گریس کاری به موقع، فشار بیش از حد ماشین کاری.	7.80	2
15	اسلاید گاید Slide guide	ایجاد اختلال در حرکت ساپورت‌ها. اختلال در عملکرد ریل.	خوردگی ریل‌ها در اثر کارکرد.	6.70	15
16	میز محور Axis table	اختلال در عملکرد میز محور.	خرابی چک‌های هیدرولیک یا پنومات یا بال اسکرو بسته به نوع استفاده، خرابی ساچمه در بال اسکرو و پکینگ در چک‌ها.	6.01	18
17	کاور تلسکوپ Telescopic cover	ورود ذرات در اجزاء و بخش‌های داخلی.	فرسودگی، خرابی نوارهای لاستیکی، عدم نظافت صحیح.	5.62	21
18	پمپ روغن Oil pump	فشار روغن کم می‌شود، نچرخیدن تارت، زمان تعمیر قلم زیاد است.	استهلاک، عمر مفید تمام شده، خرابی کاسه نم.	6.79	12
19	اتصالات روان کاری Lubrication Fittings	مصرف زیاد روغن، افت فشار.	استهلاک، جنس نامرغوب.	5.86	19
20	نازل‌های روان کاری Lubrication nozzle	خرابی بال اسکرو، ریل و غیره.	خرابی آب بندها، ورود پلیسه و ذرات که باعث مسدود شدن مسیرها و خرابی پکینگ می‌شود.	7.02	7
21	سیستم روان کاری گیربکس Gearbox Lubrication System	موجب خرابی چرخ‌دنده می‌شود.	ورود ذرات، خرابی پمپ روغن، خرابی اتصالات.	6.71	14
22	مقسم روغن Oil divider	خرابی بال اسکرو، ریل و غیره.	خرابی آب‌بندها، ورود پلیسه و ذرات که باعث مسدود شدن مسیرها و خرابی پکینگ می‌شود.	7.08	6
23	پمپ کولانت Coolant pump	حالت لغزندگی را ایجاد نمی‌کند که الماس‌ها تراش بدهند در نتیجه کار دستگاه متوقف می‌شود.	مسدود شدن مسیر آب و صابون، وجود پلیسه در آب و صابون، سوختن موتور، خرابی خود پمپ.	6.56	16

24	سیستم خنک‌کننده گیربکس اسپیندل Spindle gearbox cooling system	بالارفتن دمای گیربکس اسپیندل و اختلال در عملکرد اسپیندل.	اتمام عمر کارکردی، کثیف شدن فن توسط آلاینده‌ها، سوختن فن بر اثر کارکرد زیاد.	6.73	13
25	فن خنک‌کننده Cooling Fan	بالارفتن دمای اجزای مرتبط	خرابی بلبرینگ فن، اتمام عمر کارکردی، کثیف شدن فن توسط آلاینده‌ها، سوختن فن بر اثر کارکرد زیاد.	5.19	26
26	اسپیندل Spindle	دقت کار از بین می‌رود.	خرابی بلبرینگ سر موتور، گشاد شدن کاسه سر موتور، خراب شدن رزوه سر اسپیندل، خرابی رزوه های پایه موتور، شکستن پروانه خنک‌کننده، سوختن سیم پیچ موتور.	6.09	17
27	گیربکس Gearbox	اسپیندل متوقف می‌شود.	اتمام عمر کارکردی، خرابی چرخ‌دنده‌ها، عدم روغن کاری مناسب.	7.88	1
28	کلمپ Clamp	شکستن ابزار.	خرابی شیر هیدرولیک، پایین بودن فشار هیدرولیک، خرابی پکینگ داخل چک، خرابی کاسه نمد سر شافت، خرابی اورینگ داخل چک.	5.58	22
29	کانوایر Conveyor	صدای غیر عادی، لرزش، آمپر کشیدن زیاد.	ورود حجم پلیسه زیاد، فرسودگی ناودانی یا ریل کانوایر، خرابی پرنجی یا چرخنده، خرابی زنجیر کانوایر.	7.57	4
30	کولت Collet	نگرفتن قطعه کار، توقف ماشین.	میزان براده برداری بیش از حد، برخورد ابزار با اکسپنشن.	5.52	23

دارد. با به‌کارگیری این روش ابهامات موجود در قضاوت‌های ذهنی خبرگان و نبود قطعیت حاصل از آن برطرف شد و دقت، درستی و اعتبار ارزیابی افزایش یافت. مطابق با جدول نتایج ۴ عواملی همچون اتمام عمر مفید کارکردی، عدم روغن کاری مناسب، فشار بیش از حد ماشین‌کاری و ورود ذرات اضافی به‌عنوان عوامل عمده خرابی تجهیزات می‌باشند. همچنین در روش فازی زیر سیستم گیربکس با توجه به عدد FRPN به لحاظ اولویت خرابی، دارای بالاترین اولویت شد و در اولویت‌های بعدی زیر سیستم‌های لاینرگاید و اتصالات می‌باشد.

نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش FMEA فازی برای اجزای مکانیکی ماشین تراش دو محوره CNC در شکل ۱۲ ارائه شده است. مطابق با شکل ۱۲ همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، اولویت زیر سیستم‌ها در روش فازی با یک‌دیگر متفاوت است. ۳۰ زیر سیستم اجزای مکانیکی تراش CNC در روش فازی در ۳۰ گروه ریسکی گروه‌بندی شدند. مطابق با نتایج روش فازی توانست بر خلاف روش متداول، زیرسیستم‌ها را در ۳۰ گروه ریسکی گروه‌بندی کند، بنابراین روش فازی به نحوه بهتری زیر سیستم‌ها را به لحاظ اولویت خرابی گروه‌بندی می‌کند که این مطلب با نتیجه داگ سویو (۲۰۱۶)، مطابقت



شکل ۱۲- نمودار اولویت‌بندی اجزای مکانیکی تراش CNC با استفاده از FRPN

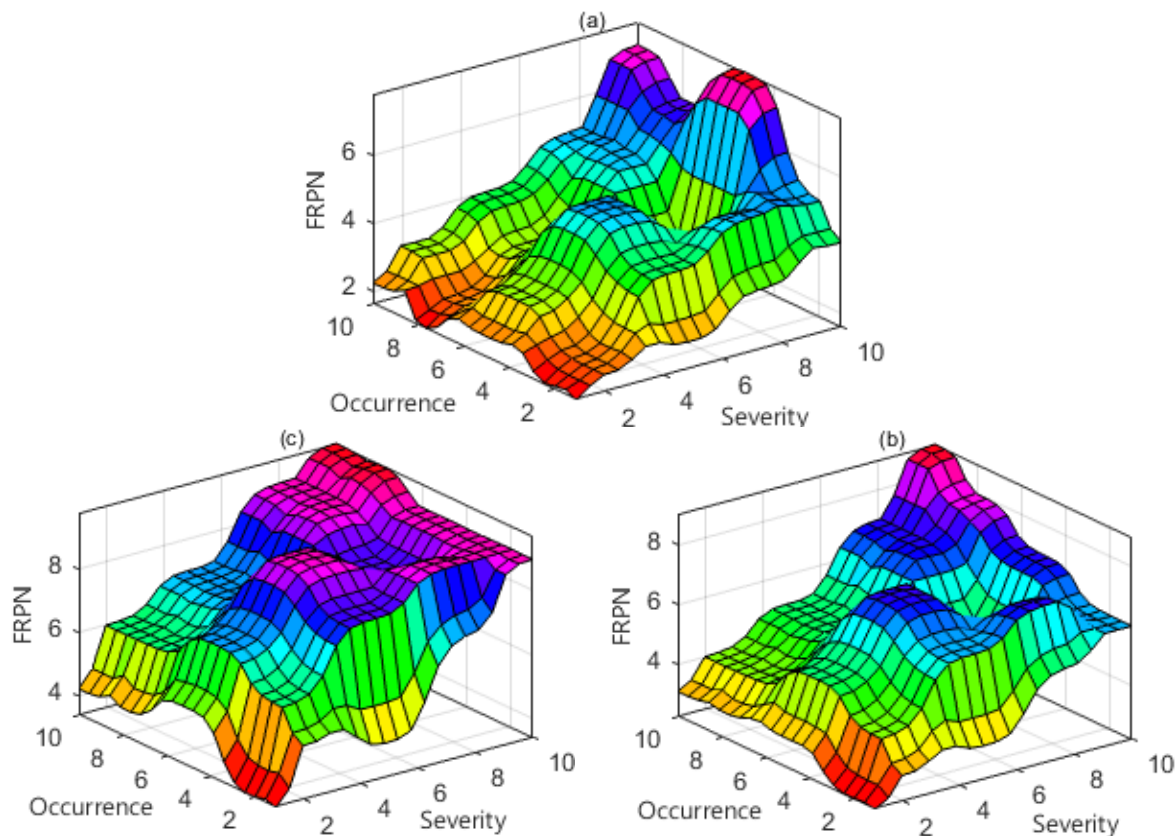
Fig. 12. Prioritization plot of CNC lathe machine components using RPN and FRPN

می‌گیرد و این که کدامیک از پارامترهای ورودی دارای وزن بیشتر و کدامیک از طرح‌ها و ترکیبات مختلف بیشترین کمک را به FRPN می‌کند. در نمودارهای شکل (a) ۱۳ تغییرات O، S و D نسبت به FRPN را با فرض اینکه D برابر ۱، در حالت b با فرض اینکه D

بر اساس مدل قواعد ۳ نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی مانند شکل ۱۳، a و b 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

به عبارت دیگر ما هرچه قدر نمایشگرهای خرابی و علائم هشداردهنده بیشتری در سیستم برای تشخیص به موقع خرابی داشته باشیم قطعاً ریسک پایین‌تر می‌آید. به طور مشابه در تحقیق (Renjith *et al.*, 2018) پارامتر ورودی Non-detection بیشترین اثر را روی مقدار خروجی داشت.

برابر ۵ و در حالت c با فرض اینکه D برابر ۱۰ باشد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که هرچه قدر S افزایش یابد، سطح ریسکی زیر سیستم نیز افزایش می‌یابد همین‌طور با افزایش O نیز FRPN افزایش می‌یابد ولی در مقایسه با این دو پارامتر اثر D محسوس‌تر و بیشتر است. به این معنی که تأثیر D در سطح ریسکی بالاست،

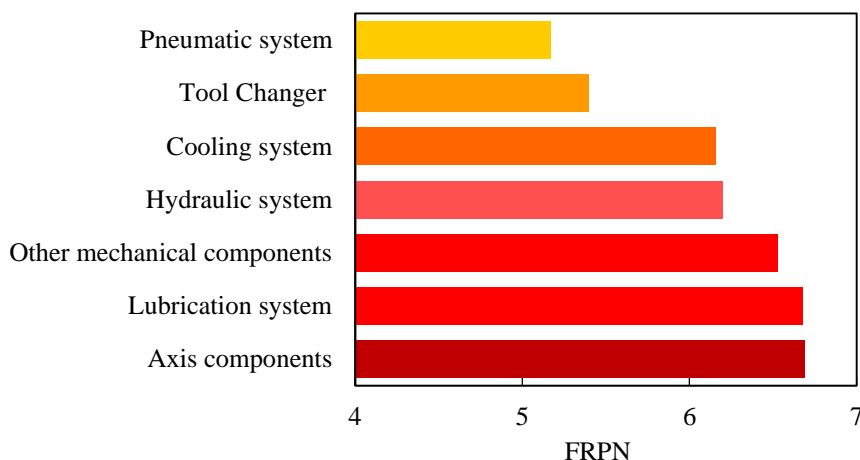


شکل ۱۳- نمودار تغییرات سطح پاسخ O, S و D در برابر FRPN
Fig. 13. Surface plot of changes O, S and D Vs FRPN

اولویت‌بندی گردید. مقادیر FRPN سیستم‌های مکانیکی ماشین تراش CNC در شکل ۱۴ ارائه شده است. مطابق با شکل ۱۴ اجزای مکانیک ماشین تراش CNC از ۷ سیستم اصلی تشکیل شده که هرکدام از این سیستم‌ها از زیر سیستم‌هایی تشکیل شده‌اند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای غلبه بر کمبودهای روش مرسوم از روش FMEA فازی برای اولویت‌بندی خرابی تجهیزات مکانیکی ماشین تراش CNC استفاده شد و نتایج به دست آمده از روش FMEA فازی



شکل ۱۴- مقادیر FRPN سیستم‌های مکانیکی ماشین تراش CNC
Fig. 14. CNC lathe machines mechanical system FRPN values

اجزای مکانیکی تراش CNC به کار رود و بستر مناسبی را برای برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات جهت به کار بردن اقدامات اصلاحی مناسب فراهم کند که در نتیجه موجب افزایش قابلیت اطمینان در فرآیند ماشین‌کاری خواهد شد.

سپاسگزاری

ما نویسندگان این پژوهش بر خود لازم می‌دانیم که از جناب آقای مهندس نمازی مدیر عامل محترم، آقای مهندس اکبرپور 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 قدردانی را بنماییم که حقیقتاً بدون کمک این عزیزان امکان انجام این تحقیق میسر نبود.

در میان سیستم‌های مکانیکی تراش CNC اجزای محورها و سیستم روان‌کاری به ترتیب دارای بیشترین مقادیر FRPN و بحرانی‌تر می‌باشند. با به کار بردن روش این پژوهش که FMEA فازی است، مشکلات کارشناسان برای رتبه‌بندی حالت‌های بحرانی برطرف شده در واقع استفاده از متغیرهای زبانی خبرگان را قادر کرد تا قضاوت واقعی‌تری را از اجزای مکانیک تراش CNC داشته و در نتیجه نتایج اولویت‌بندی حالت‌های خرابی نسبت به روش مرسوم واقعی‌تر و ملموس‌تر می‌باشد. همچنین با استفاده از این روش مشکلات و محدودیت‌های روش مرسوم کاهش یافت و به طور مؤثرتر و کارآمدتری حالت‌های خرابی اولویت‌بندی شد. در نتیجه دقت و درستی نتایج ارزیابی ریسک افزایش یافت. FMEA فازی می‌تواند به عنوان یک ابزار مؤثر برای اولویت‌بندی حالت‌های خرابی بحرانی

References

- Chanamool, N., and T. Naenna. 2016. Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department. *Applied Soft Computing* 43: 441-453.
- Chin, K. S., A. Chan, and J. B. Yang. 2008. Development of a fuzzy FMEA based product design system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 36: 633-649.
- Chiu, H. W., and C. H. Lee. 2017. Prediction of machining accuracy and surface quality for CNC machine tools using data driven approach. *Advances in Engineering Software* 114: 246-257.
- Dağsuyu, C., E. Göçmen, M. Narlı, and A. Kokangül. 2016. Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit. *Computers & Industrial Engineering* 101: 286-294.
- Ebrahimzadih, M., G. Halvani, B. Shahmoradi, and O. Giah. 2014. Assessment and risk management of potential hazards by failure modes and effect analysis (FMEA) method in Yazd Steel Complex. *Open Journal of Safety Science and Technology* 4: 127.
- Guimarães, A. C. F., and C. M. F. Lapa. 2007. Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. *Applied Soft Computing* 7: 17-28.
- Gupta, G., and R. Mishra. 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: 347-356.
- Kamalnia, H., and H. Amjad Sardroodi. 2011. Risk assessment of milling machines and Corundum of the industrial production unit of an industry in the year 88. 7th Congress of Occupational Health and Safety.

9. Karbasian, M., B. Khayambashi, O. Yousefi, and P. Naseri. 2016. Assessment and Improvement of the Reliability of the Pellets 23 MM Gun Tube Using Bayesian Networks and Fuzzy Failure Mode and Effect Analysis.
10. Lata, S., A. Gupta, A. Jain, S. Kumar, A. Srivastava, R. Rana, and R. Lal. 2016. A Review on Experimental Investigation of Machining Parameters during CNC Machining of OHNS. *International Journal of Engineering Research and Applications* 6: 63-71.
11. Li, H., F. Chen, Z. Yang, L. Wang, and Y. Kan. 2016. Failure mode analysis on machining center based on possibility theory, *Proceedings of the 5th International Conference on Electrical Engineering and Automatic Control*. Springer, pp. 627-636.
12. Liu, H. C., L. Liu, and N. Liu. 2013. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications* 40: 828-838.
13. Mandal, S., and J. Maiti. 2014. Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. *Expert Systems with Applications* 41: 3527-3537.
14. Mishra, C. S., F. Ali, and S. Adam. 2017. Study of the causes of engine failure in ship and maintenance required to prevent engine failure. *International Journal of Contemporary Research and Review* 8.
15. Namdari, A., S. Rafiei, and A. Jafari. 2011. Using the failure modes and effects analysis (FMEA) to perform optimal Moldboard plow. *Journal of Agricultural Machinery* 1 (1): 17-24. (In Farsi).
16. Panchal, D., and D. Kumar. 2016. Integrated framework for behaviour analysis in a process plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 40: 147-161.
17. Renjith, V., P. H. Kumar, and D. Madhavan. 2018. Fuzzy FMECA (failure mode effect and criticality analysis) of LNG storage facility. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*.
18. Salvi, R. K. 2017. Failure Mode and Effect Analysis for CNC machines used in GG Valves Industry. MPUAT, Udaipur.
19. Shahriar, A., R. Sadiq, and S. Tesfamariam. 2012. Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 25: 505-523.
20. Shukla, S. K., S. Kumar, P. Selvaraj, and V. S. Rao. 2014. Integrated logistics system for indigenous fighter aircraft development program. *Procedia Engineering* 97: 2238-2247.
21. Wang, X., Y. Zhang, and G. Shen. 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: 43-54.
22. Yang, Z., B. Xu, F. Chen, Q. Hao, X. Zhu, and Y. Jia. 2010. A new failure mode and effects analysis model of CNC machine tool using fuzzy theory, *Information and Automation (ICIA), 2010 IEEE International Conference on*. IEEE, pp. 582-587.
23. Yazdi, M., S. Daneshvar, and H. Setareh. 2017. An extension to fuzzy developed failure mode and effects analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system. *Safety Science* 98: 113-123.

Prioritization and Evaluation of Mechanical Components Failure of CNC Lathe Machine based on Fuzzy FMEA Approach

A. Vaysi¹- A. Rohani^{2*}- M. Tabasizadeh³- R. Khodabakhshian³- F. Kolahan⁴

Received: 29-05-2018

Accepted: 06-08-2018

Introduction

In recent years, with development of industrial products with complex and precise systems, the demand for CNC machines has been increasing, and as its technology has been progressed, more failure modes have been developed with complex and multi-purpose structures. The necessity of CNC machines' reliability is also more evident than ever due to its impact on production and its implementation costs. Aiming at reducing the risks and managing the performance of the CNC machine parts in order to increase the reliability and reduce the stop time, it is important to identify all of the failure modes and prioritize them to determine the critical modes and take the proper cautionary maintenance actions approach.

Materials and Methods

In this study, conventional and fuzzy FMEA, which is a method in the field of reliability applications, was used to determine the risks in mechanical components of CNC lathe machine and all its potential failure modes. The extracted information was mainly obtained by asking from CNC machine experts and analysts, who provided detailed information about the CNC machining process. These experts used linguistic terms to prioritize the S, O and D parameters. In the conventional method, the RPN numbers were calculated and prioritized for different subsystems. Then in the fuzzy method, first the working process of the CNC machine and the mechanism of its components were studied. Also, in this step, all failure modes of mechanical components of the CNC and their effects were determined. Subsequently, each of the three parameters S, O, and D were evaluated for each of the failure modes and their rankings. For ranking using the crisp data, usually, the numbers in 1-10 scale are used, then using linguistic variables, the crisp values are converted into fuzzy values (fuzzification). 125 rules were used to control the output values for correcting the input parameters (Inference). For converting input parameters to fuzzy values and transferring qualitative rules into quantitative results, Fuzzy Mamdani Inference Algorithm was used (Inference). In the following, the inference output values are converted into non-fuzzy values (defuzzification). In the end, the fuzzy RPNs calculated by the fuzzy algorithm and defuzzified are ranked.

Results and Discussion

In conventional FMEA method, after calculating the RPNs and prioritizing them, the results showed that this method grouped 30 subsystems into 30 risk groups due to the RPN equalization of some subsystems, while it is evident that by changing the subsystem, the nature of its failure and its severity would vary. Therefore, this result is not consistent with reality. According to the weaknesses of this method, fuzzy logic was used for better prioritization. In the fuzzy method, the results showed that, in the 5-point scale, with the Gaussian membership function and the Centroid defuzzification method, it was able to prioritize subsystems in 30 risk groups. In this method, gearboxes, linear guideway, and fittings had the highest priority in terms of the criticality of failure, respectively.

Conclusions

The results of the fuzzy FMEA method showed that, among the mechanical systems of CNC lathe machine, the axes components and the lubrication system have the highest FRPNs and degree of criticality, respectively. Using the fuzzy FMEA method, the experts' problems in prioritizing critical modes were solved. In fact, using the linguistic variables enabled experts to have a more realistic judgment of CNC machine components, and thus, compared to the conventional method, the results of the prioritization of failure modes are more accurate, realistic and sensible. Also, using this method, the limitations of the conventional method were reduced, and failure modes were prioritized more effectively and efficiently. Fuzzy FMEA is found to be an effective tool for prioritizing critical failure modes of mechanical components in CNC lathe machines. The results can also be used in arranging maintenance schedule to take corrective measures, and thereby, it can increase the reliability of the machining process.

Keywords: CNC lathe machine, Fuzzy FMEA, Mechanical parts, Prioritizing, Risk management

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Respectively, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

4- Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: arohani@um.ac.ir)