

تحلیل تحلیل کیفی قابلیت اطمینان دستگاه فرز CNC با استفاده از مدل ترکیبی نمودار علت و معلول و درخت خطای فازی

حجت اله آدمی^۱، عباس راد^۲، یاسر قاسمی نژاد^۳ و محمد مهدی مهتدی^۴

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران، Hojatadami@Gmail.Com

۲- دانشیار، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، Raad@sbu.ac.ir

۳- دانشیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران، Yaserghn@gmail.com

۴- دانشیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران، Mohtadi@ihu.ac.ir

چکیده

در این مقاله با استفاده از تحلیل کیفی درخت خطای فازی قابلیت اطمینان دستگاه فرز CNC محاسبه شده است. ورودی‌های این روش مقیاس‌های زبانی بیان شده بوسیله خبرگان برای رویدادهای پایه شناسایی شده، بوسیله نمودار علت و معلول است و خروجی آن، احتمال خرابی رویدادهای پایه برای هر یک از اجزاء است. در این پژوهش جامعه‌ی آماری، متشکل از متخصصین حوزه‌های طراحی، تولید، تعمیر و نگهداری، ایمنی و کنترل کیفیت به تعداد ۲۵ نفر بوده و از پنج کمیته‌ی کاری با تخصص‌های مختلف استفاده شده است. به متخصصین با توجه به ویژگی‌های اختصاصی شامل سطح تحصیلات، سن، جایگاه شغلی و سابقه‌ی کاری، نمره‌دهی شده است. وزن هر گروه از کمیته‌های کاری نیز بر اساس ترکیب نیروی متخصص مشخص می‌شود. ابتدا با استفاده از نمودار علت و معلول (استخوان ماهی) و روش طوفان فکری، خرابی‌ها شناسایی شدند. پرسشنامه‌ای برای هر کدام از خرابی‌های شناسایی شده از نمودار علت و معلول توزیع گردید و با عبارات زبانی در مقیاس ۷ تایی لیکرت نظرات جمع‌آوری شد و با استفاده از الگوریتم فازی قابلیت اطمینان، احتمال خرابی رویدادهای پایه استخراج گردید و پس از ترسیم نمودار درخت خطا و بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان، روابط ریاضی حاکم بر آنها، قابلیت اطمینان دستگاه فرز CNC محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد قابلیت اطمینان واقعی بدست آمده با استفاده از داده‌های خرابی جمع‌آوری شده در مدت نگهداری و تعمیرات دستگاه CNC با استفاده از روش احتمالی و زنجیره مارکوف برابر ۹۳/۷۱٪ بوده و از طریق الگوریتم فازی قابلیت اطمینان برابر ۹۲/۶۸٪ است.

واژه‌های کلیدی: قابلیت اطمینان، تحلیل درخت خطا، منطق فازی، بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان، نمودار علت و معلول

مقدمه

خرابی ماشین‌ها می‌تواند باعث توقف خط تولید شود، ضمن اینکه تعمیرات این دستگاه‌ها وقتی بدون احتمال قبلی خراب شوند و تهیه قطعات یدکی با توجه به نیاز به واردات آنها، زمان و هزینه‌بر است [1]. شناسایی ریسک‌ها و برنامه‌ریزی اقداماتی در جهت حل آنها برای اکثر مدیران مسئله‌ای پیچیده است. دغدغه اصلی شرکتهای تولیدی

ماشین‌کاری دقیق قطعات پیچیده‌ی صنعتی به دستگاههای خاصی نیاز دارد که یکی از بهترین این دستگاهها ماشین فرز CNC است. این ماشین‌ها انعطاف پذیری، دقت مداوم و بهره‌وری بالا در تولید دارند.

مشخص، مشارکت دارند ترسیم شدند. بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان(RBD)⁴ از روی نمودار FTA ترسیم و مدلسازی قابلیت اطمینان صورت گرفت[3]. در این تحقیق، شناسایی رویدادهای اصلی با استفاده از نمودار علت و معلول انجام شد و با استفاده از درخت خطای فازی قابلیت اطمینان دستگاه فرز CNC تحلیل گردید. شکاف تحقیقاتی موجود استفاده از الگوریتم فازی و روش CED-FTA⁵ Reliability محاسبه احتمال خرابی و قابلیت اطمینان فازی دستگاه فرز CNC در زمانی که داده‌های خرابی واقعی در دسترس نمی‌باشند، است. در این مقاله به سوالات اساسی زیر پاسخ داده می‌شود:

سوال اول: ارزیابی ریسک کیفی فازی به روش FTA چگونه انجام می‌شود؟

سوال دوم: احتمال خرابی با استفاده از خروجی CED-FTA فازی چگونه محاسبه می‌شود؟

سوال سوم: مدلسازی و محاسبه قابلیت اطمینان دستگاه فرز CNC چگونه است؟

سوال چهارم: صحنه‌گذاری روش کیفی پیشنهادی با داده‌های کمی چگونه صورت می‌گیرد؟

روش تحقیق

برای جمع‌آوری داده‌های خرابی و زمان تعمیر، منابع مختلفی شامل داده‌های جمع‌آوری شده در کارت‌های کنترلی سوابق گذشته‌ی دستگاه، ثبت فعالیت‌های نگهداری و تعمیر، تحلیل‌های صورت گرفته در زمینه نگهداری و تعمیر، تست‌های قابلیت اطمینان و تست‌های شتابدار عمر در دسترس هستند. ارزیابی هر دو روش بر اساس داده‌های خرابی حین آزمون‌های قابلیت اطمینان یا داده‌های خرابی جمع‌آوری شده در حین کار با دستگاه صورت می‌گیرد. هزینه‌ی بالای انجام آزمون‌های قابلیت اطمینان، موجب شده است که بعضی شرکت‌ها قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و تعمیر و دسترس‌پذیری را با استفاده از داده‌های آماری جمع‌آوری شده از خرابی‌های قسمتهای مختلف دستگاه برای دو نوع سیستم تولیدی در یک فاصله‌ی زمانی به دست آورند. بسیاری از شرکت‌های دیگر نیز هستند که از اساس چنین داده‌هایی را گردآوری نکرده‌اند و هیچ برنامه مدونی برای تعمیرات پیشگیرانه ندارند. چه باید کرد؟ آیا باید همه شرکتها سالها زمان و هزینه برای گردآوری این داده‌ها صرف

و خدماتی این است که برای برنامه خدمات و یا تولید محصول می‌خواهند با صرف زمان و هزینه‌ی کمتر، در بهره برداری، کیفیت قابل قبولی داشته باشند. بنابراین شناسایی و تجزیه و تحلیل ریسکها با رویکرد قابلیت اطمینان می‌تواند باعث توسعه‌ی برنامه‌ی جامع نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه شود. جنبه دیگر این موضوع، یافتن مسیرهای بحرانی‌تر و تعیین اقدامات و راهکارهای نگهداری در هنگام طراحی یا طراحی مجدد و یا هنگام بهره‌برداری در کارگاه است. این کار باعث کاهش زمان فعالیت‌های تعمیر یا نگهداری می‌شود. باید در نظر داشت که ریسکها از بین نمی‌روند و محصولاتی که عدم موفقیت آنها می‌تواند خطرات ایمنی و سلامتی ایجاد کند، باید از نظر قابلیت اطمینان مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند تا بتوان روش‌هایی را برای کاهش احتمال خرابی در نظر گرفت. در حال حاضر رویکرد اصلی شناسایی و ارزیابی ریسکها در سیستم‌های پیچیده بسیار مشکل است و شاخص‌گذاری برنامه‌ریزی اقدامات اصلاحی نیز سلیقه‌ای و زمانبر است. همه این فعالیتها به منظور بهبود قابلیت اطمینان و دسترس‌پذیری دستگاهها و تجهیزات خط تولید انجام می‌شوند. دسترس‌پذیری و قابلیت اطمینان دغدغه‌ی اصلی سیستم‌ها و تجهیزات پیچیده‌ی صنعتی مانند صنایع تولیدی و خدماتی است. اطلاعات کمی² خرابی و ریسکهای غالب برای تجهیزات/محصولات جدید، چندان در دسترس نبوده و برای محصول/تجهیزات قدیمی نیز ممکن است یا به اندازه کافی جمع‌آوری نشده باشند یا اینکه دسترسی به آنها برای اینکه بتوانیم بوسیله آنها قابلیت اطمینان را تخمین بزنیم، سخت باشد. برای برنامه‌ریزی صحیح نگهداری و تعمیرات، شناسایی ریسکها، اولویت‌بندی آنها و تعیین رویدادهای پایه بر مبنای آنها ضروری است. FTA³ سنتی برای احتمال خرابی رویدادهای اساسی به مقادیر دقیق نیاز دارد. با این حال، از آنجا که داده‌های خرابی قطعی نیستند، یک رویکرد فازی برای این داده‌ها اتخاذ می‌شود که تحت عنوان تجزیه و تحلیل درخت خطای فازی (FFTA)⁴ معرفی می‌شود، روشی که از استخراج نظرات خبرگان و تئوری‌های مجموعه فازی برای محاسبه احتمال خرابی متوسط استفاده می‌کند. پس از تعیین رویدادهای پایه، با استفاده از داده‌های کیفی جمع‌آوری شده از نظرات متخصصین و وزن دهی آنها، تحلیل درخت خطای فازی صورت گرفت و احتمال خرابی رویدادهای پایه استخراج شد[2]. بر اساس نمایش گرافیکی ساختار یافته FTA، عواملی که باعث وقوع یک رویداد نامطلوب شده و یا در وقوع رویداد نامطلوب

⁴ Fuzzy fault tree analysis

⁵ Reliability block diagram

⁶ Fuzzy cause and effect diagram -fault tree analysis

¹ Preventive Maintenance(PM)

² quantity

³ Fault tree analysis

کنند یا می‌توان راهی کم هزینه‌تر برای تدوین برنامه‌های تعمیر و نگهداری ارائه کرد؟

بین بای و همکاران، کاربرد ارزیابی یکپارچه عامل - فرآیند تحلیل سلسله مراتبی - تحلیل درخت خطا فازی T-S در تخصیص قابلیت اطمینان سیستم‌های ربات صنعتی ارائه دادند. تحلیل سلسله‌مراتبی برای محاسبه تخصیص وزن عوامل تأثیرگذار به زیرسیستم‌های مختلف با توجه به این مسئله ارائه شده است که درجه تأثیر عوامل تأثیرگذار بر زیرسیستم‌های مختلف سازگار نیست. احتمال خطای جزئی و شدید IRSها و شش زیرسیستم به صورت کمی توسط FTA T-S فازی پس از توزیع اهداف قابلیت اطمینان سیستم به طور معقول به شش زیرسیستم محاسبه می‌شود، در نتیجه، تخصیص شاخص قابلیت اطمینان چند حالت IRSها تکمیل می‌شود [4]. روی دینگ و همکاران، رویکرد جدید ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم حذف حرارت باقیمانده برای راکتور تحت فشار 1000 هوالونگ بر اساس تحلیل حالت خرابی و اثرات، تجزیه و تحلیل درخت خطا و روش‌های شبکه بیزی فازی ارائه دادند [5]. فضل اله تبار و اخوان نیکی، تجزیه و تحلیل درخت خطا برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم پیچیده ربات صنعتی را بررسی کردند. در این مقاله، از روش حداقل مسیرها و برش‌ها در روش FTA برای کنترل اجزای بحرانی ربات‌های صنعتی استفاده شده است. در این مقاله، یک مدل FTA-RBD یکپارچه برای یک سیستم ربات پیچیده که در سیستم‌های پیشرفته تولید استفاده می‌شود، توسعه داده شده است [6]. مجموعه‌ی برشی؛ گروهی از رویدادها است که در صورت وقوع آنها؛ رویداد نهایی نیز به وقوع خواهد پیوست. به عبارت دیگر اگر بتوانیم جلوی وقوع یکی از رویدادها را در مجموعه‌ی برشی بگیریم؛ عملاً از رویداد نهایی نامطلوب پیشگیری کرده‌ایم. از بین مجموعه‌های برشی، مجموعه‌ای که حائز کمترین تعداد رویداد باشد؛ به عنوان مجموعه‌ی برشی حداقلی شناخته می‌شود [7]. پوربا و همکاران، ارزیابی فازی قابلیت اطمینان رویدادهای پایه درخت خطا با استفاده از داده‌های کیفی را ارائه کردند. در این مقاله با استفاده از داده‌های کیفی (مقادیر زبانی) برای تصمیم‌گیری در باره قابلیت اطمینان استفاده شده است. الگوریتم فازی قابلیت اطمینان برای پردازش داده‌های کیفی در ارزیابی رویدادهای پایه درخت خطا و تحلیل داده‌ها استفاده شده است. این داده‌ها با عبارات احتمال خرابی بیان شده و با اعداد فازی

نمایش داده شده‌اند و احتمال خرابی رویداد پایه را مشخص می‌کنند [8]. سنجش قابلیت اطمینان فازی روش دیگری برای محاسبه قابلیت اطمینان محصولات الکترومکانیکی است. در روش فازی قابلیت اطمینان به صورت ترکیبی از متغیر تصادفی و فازی حل می‌شود، مدل سنجش قابلیت اطمینان را برای محصولات الکترومکانیکی تحت اثر چندین نوع عدم قطعیت را مورد مطالعه قرار دادند و روش ارائه شده را با مدل‌های فازی و تصادفی جداگانه مقایسه و صحت‌گذاری کرده‌اند، این مدل روش مناسبی برای محاسبه قابلیت اطمینان محصولات الکترومکانیکی در شرایط تعریف شده است [9]. آ.اس چیلان و همکاران، تحلیل درخت خطای فازی نشت روغن و گاز در سیستم تولید، زیر دریا را ارائه دادند. درخت خطا با در نظر گرفتن چهار موضوع اصلی که می‌تواند نشت را آغاز کند، ایجاد شده است. این موارد عبارتند از: چاه‌های گاز و نفت، خطوط لوله، تأسیسات اصلی و خسارات شخص ثالث [10]. راجا کارونا و همکاران، کاربرد تحلیل درخت خطای فازی و استخراج نظرات متخصصین برای ارزیابی ریسک در ایستگاه سوخت رسانی LPG را ارائه کردند. در این مقاله روشی برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های مهندسی پیچیده با استفاده از اطلاعات حاصل از تجزیه و تحلیل درخت خطا و عدم اطمینان / عدم صحت داده‌ها ارائه شده است. مدل پیشنهادی قادر است درخت خطای تأسیسات سوخت رسانی LPG⁴ را در غیاب یا وجود داده‌ها؛ کمی کند. نتایج مقاله نشان می‌دهد که وقتی داده‌های خرابی تاریخی کمی در دسترس نیستند، این روش رویکرد احتمالی مطمئنی است [11]. ناصری و همکاران، بجه بررسی کاربرد تئوری مجموعه فازی و قضاوت متخصصین در تحلیل قابلیت اطمینان امکانات و زیرساختهای نفت و گاز قطب شمال پرداختند [12]. بایگ و همکاران، تحلیل قابلیت اطمینان با استفاده از تجزیه و تحلیل درخت خطا را بررسی کردند و در این مقاله روش کلی FTA، کاربرد آن در زمینه‌های مختلف و تغییراتی را که در طول زمان برای غلبه بر ناکافی بودن روش ایجاد شده است، را ارائه کرده‌اند [13]. ولکانوسکی و همکاران، روش جدیدی برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان سیستم قدرت (برق) با استفاده از روش تحلیل درخت خطا ارائه کردند. در این مقاله قابلیت اطمینان سیستم قدرت ارزیابی شده و عوامل اصلی در قابلیت اطمینان سیستم قدرت، چه از نظر کیفی و کمی مشخص شده‌اند، ویژگی مهم این روش این است که می‌توان با استفاده از اقدامات مهم تعریف شده،

⁴ Liquid Pressure Gas

⁵ naseri & javad barabady, 2014

¹ industrial robot systems

² Hualong Pressurized Reactor 1000

³ Rajakarunakaran, 2014

اطمینان سیستم‌های پیچیده استفاده شد. حوزه کاربردی این روش، همه‌ی صنایع را شامل می‌شود. دو صنعتی هستند که FTA بیشترین کاربرد را در آنها دارد، صنایع فضایی و هسته‌ای هستند. تحلیل درخت خطا یک دیاگرام منطقی است که ارتباط بین خرابی‌های سیستم را نشان می‌دهد به عبارتی رویدادهای خاص نامطلوب و خرابی‌های اجزاء سیستم را نشان می‌دهد. رویداد نامطلوب متشکل است از رویداد نهایی و رویدادهای پایه از خرابی‌های اجزاء مختلف سیستم تشکیل می‌شود. به عنوان مثال در یک فرایند تولیدی، رویداد نهایی می‌تواند توقف فرایند تولید باشد و رویداد پایه، خراب شدن یک ویژگی موتور باشد. رویداد پایه حتماً نیاز به ارائه و نمایش خرابی خالص اجزاء ندارد و می‌تواند به صورت خطای انسانی یا خرابی‌های ناشی از بارهای (نیروهای) اضافی، مثل شرایط محیطی خیلی بد باشد [18]. در این روش مجموعه‌ی برشی؛ گروهی از رویدادها است که در صورت وقوع آنها؛ رویداد نهایی نیز به وقوع خواهد پیوست. به عبارت دیگر اگر بتوانیم جلوی وقوع یکی از رویدادها را در مجموعه‌ی برشی بگیریم؛ عملاً از رویداد نهایی نامطلوب پیشگیری کرده‌ایم. از بین مجموعه‌های برشی، مجموعه‌ای که حائز کمترین تعداد رویداد باشد؛ به عنوان مجموعه‌ی برشی حداقلی شناخته می‌شود [7]. از مزایای FTA ارائه مدل سلسله مراتبی از مولفه‌ها (اجزاء)، نشان دادن مفهوم علت و معلول به صورت گرافیکی، ساده سازی تشخیص عیب از طریق نمودار و بهبود برنامه‌های نگهداری و تعمیر است.

الگوریتم فازی قابلیت اطمینان

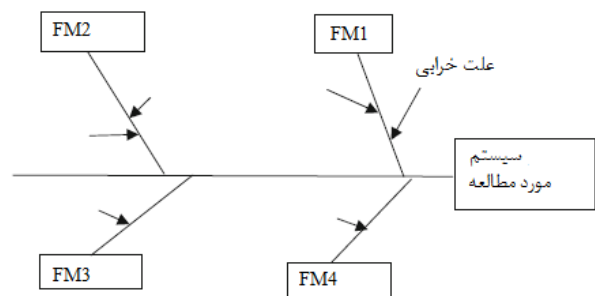
در سال ۱۹۶۵ مجموعه‌های فازی، برای حل مسائل مربوط به اطلاعات زبانی و غیر قطعی ارائه شد [19]. چون دسترسی به داده‌های واقعی پرهزینه است، تصمیم‌گیرنده مجبور می‌شود از روشهای دیگری در تصمیم‌گیری استفاده کند؛ عددهای فازی مثلثی، برای کمی کردن اطلاعات بحث شده درباره مسائل تصمیم‌گیری مناسب هستند. اولین دلیل برای استفاده از عدد فازی مثلثی، سادگی درک و اثربخشی محاسبات این روش است. عدد فازی مثلثی \tilde{A} می‌تواند با عبارات سه‌تایی (a_1, a_2, a_3) با تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ، به صورت زیر تعریف شود:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (1)$$

کمبودهای سیستم را به راحتی شناسایی کرد [14]. دونگ یوها و همکاران، به بررسی تخمین احتمال خرابی خطوط لوله انتقال نفت و گاز با استفاده از تحلیل درخت خطای فازی پرداختند [15]. کالایاراسی و همکاران، تحلیل قابلیت اطمینان سیستم را با استفاده از زنجیره مارکوف ارائه کردند، و محاسبه قابلیت اطمینان بر اساس نرخ خطای انسانی با استفاده از زنجیره مارکوف را بررسی کرده‌اند و به دنبال کمک گرفتن از این روش به منظور بهبود اثر بخشی سلامتی و ایمنی نیروی انسانی و دستگاه‌ها بوده است [16]. کومار و همکاران بررسی دسترس پذیری، قابلیت اطمینان و قابلیت نگهداری و تعمیر دستگاه حفاری تونلهای زمینی با استفاده از زنجیره مارکوف را بررسی کردند و دسترس پذیری دستگاه را با برنامه ریزی‌های مناسب نگهداری و تعمیرات از ۶۱٪ به ۷۰٪ افزایش دادند [17].

نمودار علت و معلولی^۱

نمودار علت و معلولی ماهی که به آن نمودار استخوان ماهی نیز می‌گویند، تکنیکی موثر برای ارزیابی علت خرابی مرتبط با سیستم مورد مطالعه است. سیستم مورد مطالعه در انتهای سمت راست یک خط افقی قرار می‌گیرد. زیرسیستم‌ها یا هر منبع شناسایی شده، در شاخه‌هایی قرار می‌گیرند که از خط افقی بیرون زده شده‌اند و علت خرابی برای هر زیرسیستم به سمت آن هدایت می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: نمودار علت و معلولی / استخوان ماهی

روش FTA

در سال ۱۹۶۲ در آزمایشگاه‌های تلفن بل آمریکا، در مطالعات قابلیت اطمینان و ایمنی برای ارزیابی ایمنی سیستم کنترل پرتاب موشک مینوتمن از تحلیل درخت خطا استفاده شد. شرکت بوئینگ این روش را بیشتر توسعه داد و از برنامه‌های کامپیوتری برای تحلیل کمی و کیفی درخت خطا بهره برد. از سال ۱۹۷۰ به بعد تحلیل درخت خطا (FTA) به طور وسیعی در تحلیل ریسک و قابلیت

^۲ Fish bone diagram

^۱ Cause and effect diagram

اعداد فازی شکل تعمیم یافته‌ی اعداد واقعی و معمولی هستند که به جای اشاره به یک ارزش خاص شامل بازه‌ای از ارزش‌های ممکن هستند. متغیرهای فازی به عنوان یک وسیله‌ی مفید برای ارائه مشخصات تقریبی پدیده‌هایی که خیلی پیچیده‌اند و یا تعریف مشخصی ندارند و به صورت عبارات کمی معمول شرح داده می‌شوند، بکار می‌رود. برای مثال اعداد فازی مثلثی متناظر با طیف لیکرت هفت‌مقیاسی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- اعداد فازی مثلثی طیف لیکرت هفت‌مقیاسی (درجه)

متغیر فازی	مقیاس عدد فازی
خیلی کم (VL)	(0,0,0.1)
کم (L)	(0,0.1,0.3)
کم تا متوسط (ML)	(0.1,0.3,0.5)
متوسط (M)	(0.3,0.5,0.7)
متوسط تا زیاد (MH)	(0.5,0.7,0.9)
زیاد (H)	(0.7,0.9,1)
خیلی زیاد (VH)	(0.9,1,1)

الگوریتم محاسبه احتمال خرابی رویدادهای پایه با استفاده از متغیرهای فازی

$E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, \dots, e_n\}$ نشان دهنده تعداد متخصصین، $B = \{b_1, b_2, b_3, b_4, \dots, b_k\}$ رویدادهای پایه، $W = \{w_1, w_2, w_3, w_4, \dots, w_n, \sum_{i=1}^n w_i = 1\}$ وزن هر یک از متخصصین و k تعداد رویدادهای پایه درخت خطای B که به صورت فازی و ذهنی توسط n متخصص ارزیابی شده‌اند، است. W_i وزن هر یک از متخصصین در بازه $[0,1]$ تعریف می‌شود، بطوریکه $\sum w_i = 1$. برای ارزیابی رویدادهای پایه لازم است پرسشنامه‌ای طراحی شود تا متخصصین بتوانند نظرات خود را اعلام نمایند و در ادامه مورد استفاده قرار گیرد.

مرحله ۱: طراحی پرسشنامه‌ی رویدادهای پایه

پس از اینکه حالات خرابی زیر مجموعه‌های دستگاه CNC شناسایی و رتبه‌بندی شدند، لازم است رویدادهای نهایی مشخص شوند. برای بررسی این رویدادها با استفاده از متغیرهای فازی و تشکیل ماتریس فازی لازم است پرسشنامه‌ای، طراحی شود و نظرات متخصصین درباره هر رویداد پایه جمع آوری گردد. در فرایند ارزیابی رویدادهای پایه هر یک از متخصصین به صورت ذهنی و با

$$Q_w = [Q_F][W_i^f] = \begin{bmatrix} w_1^f b_1^f & w_2^f b_1^f & \dots & \dots & w_n^f b_1^f \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ w_1^f b_k^f & w_2^f b_k^f & \dots & \dots & w_n^f b_k^f \end{bmatrix}$$

$b_i^f =$ مقدار فازی شده رویداد b_i

$w_i^f =$ مقدار وزن فازی هر متخصص w_i

برای تبدیل این داده‌های کیفی به کمی و استفاده آنها در محاسبه قابلیت اطمینان از روش فازی با تابع عضویت مثلثی استفاده شده است. حال مقادیر کمی ماتریس فازی تشکیل شده را باید به مقادیر اسکالر با فازی زدایی ماتریس تبدیل کنیم. برای فازی زدایی ماتریس فازی از معادله (۴) استفاده می‌شود و مقدار احتمال خرابی قطعی (CFP) از معادله (۵) به دست می‌آید.

مرحله ۲: فازی زدایی

فازی زدایی^۷ روشی برای تبدیل اعداد فازی^۸ به اعداد قطعی است. این عملیات باعث می‌شود که نتایج حاصل از استنتاج فازی به صورتی قابل فهم برای مخاطب ارائه شود. نظر به گستره‌ی کاربرد، روش‌های فازی زدایی متنوعی نیز ارائه شده است. هدف همه این روش‌ها تبدیل نتایج فازی به نتایج غیرفازی یا معمولی است. در یک سیستم فازی ابتدا از فازی‌سازی عناصر ورودی استفاده می‌شود. پس از آن محاسبات به روش فازی صورت می‌گیرد. در نهایت نتایج حاصل باید فازی زدایی شود. با فازی زدایی کردن نتایج یک سیستم محاسباتی فازی، می‌توان گزارش‌ها را به صورت قابل فهم برای بهره‌مندان آن ارائه کرد. زمانی که طیف فازی مناسب انتخاب شد و عملیات فازی بر روی مقادیر انجام شد در نهایت به

⁷ Medium to High

⁸ High

⁹ Very High

¹ Crisp Failure Probability 0

¹ Defuzzification 1

¹ Fuzzy Number 2

¹ Fuzzy number

² Top Event

³ Very Low

⁴ Low

⁵ Low to Medium

⁶ Medium

$$R_S(t) = R_1(t)R_2(t)R_3(t)R_4(t) \dots R_N(t) \quad (7)$$

اگر نرخ خرابی کلیه اجزا ثابت باشد (توزیع نمایی) در این صورت قابلیت اطمینان کل سامانه برابر خواهد شد با:

$$R_S(t) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_i + \dots + \lambda_N)t} = e^{-\lambda_S t} \quad (8)$$

که در این روابط، R_i و λ_i به ترتیب قابلیت اطمینان، نرخ خرابی جزء «i»ام و نرخ خرابی سامانه کامل است.

مدل موازی ساده

برای استخراج مدل تحلیلی چنین سامانه‌هایی از این اصل استفاده می‌کنیم که احتمال خرابی سامانه برابر احتمال خرابی همزمان تمام n جزء است لذا خواهیم داشت:

$$F_S = F_1 F_2 F_3 \dots F_n \quad (9)$$

که در این رابطه F_S بیانگر احتمال شکست سامانه کامل و F_i بیانگر احتمال خرابی و شکست جزء «i»ام است و چون $1 - R_i = F_i$ لذا قابلیت اطمینان کل سامانه برابر خواهد بود با:

$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (10)$$

برای حالتی که نرخ خرابی اجزا در طول زمان ثابت باشد این معادله به صورت زیر خواهد شد:

$$R_S(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (11)$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (12)$$

که در این روابط λ_i نرخ خرابی جزء «i»ام و $F(t)$ احتمال خرابی هر جزء است، لازم به ذکر است FP معادل λ_i است؛ چون بررسی عمر مفید دستگاه فرز CNC مد نظر است و از طرفی محققین برای دوره عمر مفید، توزیع نمایی را پیشنهاد داده‌اند، از این توزیع نیز برای محاسبه‌ی قابلیت اطمینان استفاده شده است [21]. اطمینان زیرسیستم‌ها از توزیع نمایی معادله (۱۳) پیروی می‌کند:

$$R_1(t) = e^{-\lambda_1 t}, R_2(t) = e^{-\lambda_2 t}, R_3(t) = e^{-\lambda_3 t} \quad (13)$$

$$, R_4(t) = e^{-\lambda_4 t}, R_5(t) = e^{-\lambda_5 t}$$

مدل مفهومی پژوهش

مدل مفهومی ارزیابی کیفی قابلیت اطمینان با استفاده از روش سنتی و فازی مطابق شکل (۲) است.

نتایج خواهد رسید که قاعدتاً فازی هستند. این نتایج فازی، به سادگی قابل فهم و تفسیر نیستند؛ بنابراین باید به اعداد قطعی^۱ تبدیل شوند. فرایند تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی را فازی‌زدایی گویند. روش‌های مختلفی برای فازی‌زدایی پیشنهاد شده است مانند روش مرکز ثقل، روش مینکوفسکی، الگوریتم CFCS در این پروژه برای فازی‌زدایی اعداد فازی و تبدیل آنها به مقادیر قطعی از روش مرکز ثقل استفاده شده است [20].

روش مرکز ثقل^۲ در این روش مقدار احتمال خرابی قطعی (CFP)^۳ از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$CFP = \frac{\int \mu(x) * x dx}{\int \mu(x) dx} \quad (3)$$

برای عدد فازی مثلثی با پارامترهای (a_1, a_2, a_3) این مقدار به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$CFP = \frac{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} x dx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} dx} + \frac{\int_{a_2}^{a_3} \frac{a_3-x}{a_3-a_2} x dx}{\int_{a_2}^{a_3} \frac{a_3-x}{a_3-a_2} dx} \quad (4)$$

$$= \frac{2a_2^3 - 3a_1a_2^2 + a_1^2}{6(a_2 - a_1)} + \frac{a_3^3 - 3a_3a_2^2 + 2a_2^3}{6(a_3 - a_2)}$$

$$= \frac{a_3 - a_1}{2}$$

مرحله ۳: احتمال خرابی رویدادهای پایه FTA

در این مرحله احتمال خرابی رویدادهای پایه متناظر با امتیاز احتمال به دست آمده از روش فازی‌زدایی محاسبه می‌شود. با استفاده از تابع پیشنهاد شده توسط اونیسوا^۴ بیان شده در معادله (۵) و یکپارچه شده با معادله (۴)، احتمال خرابی رویدادهای پایه می‌تواند بوسیله معادله (۶) بیان شود. CFP امتیاز (نمره) احتمال خرابی و FP احتمال خرابی رویداد پایه است. K نشان‌دهنده‌ی ثابت معیار ایمنی است و مطابق نظر (اونیسوا) برابر 0.435 است.

$$K = \left[\frac{1 - CFP}{CFP} \right]^{1/3} \times 2 \cdot 301 \quad (5)$$

$$FP = \begin{cases} \frac{1}{10^K} & CFP \neq 0 \\ 0 & CFP = 0 \end{cases} \quad (6)$$

معادلات حاکم بر مدل سازی قابلیت اطمینان

مدل‌های سری

در مدل‌های سری، احتمال موفقیت سامانه کامل برابر احتمال موفقیت همزمان کلیه اجزای آن است، لذا معادله قابلیت اطمینان به صورت زیر است:

³ Crisp Failure Probability

⁴ Onisawa

¹ Crisp

² Center of Gravity Method

رویدادها به صورت زبانی طراحی شده و در اختیار پنج گروه متخصصین قبلی قرار گرفته و نظرات آنها، جمع آوری و تحلیل شد. نمودار درخت خطا (شکل ۶) و جدول پرسشنامه محور و بستر (جدول ۱۳) به عنوان نمونه در پیوست (۱) آورده شده است.

نتایج فازی سازی درخت خطا

نتایج فازی سازی نظرات متخصصین رویدادهای پایه در جداول (۳) تا (۷) آورده شده است.

نتایج احتمال خرابی قطعی (CFP)

مقادیر فازی زدایی شده از روش مرکز ثقل برای اعداد فازی مثلثی هر یک از رویدادهای پایه‌ی زیرمجموعه‌های ماشین فرز CNC، احتمال خرابی و قابلیت اطمینان در جداول (۸) تا (۱۲) آورده شده است.

فلوچارت درخت خطا FTA و بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان (RBD)

نمودار درخت خطا (پیوست ۱) (شکل ۶) و از روی آن بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان محورها و بستر به عنوان نمونه در شکل (۵) آورده شده است. در این بلوک‌ها، نمایش گرافیکی به صورت سری یا موازی و یا ترکیبی از این دو برای کلیه زیرمجموعه‌های اصلی دستگاه فرز CNC ترسیم شده است.

نتایج محاسبه قابلیت اطمینان زیرمجموعه‌های دستگاه

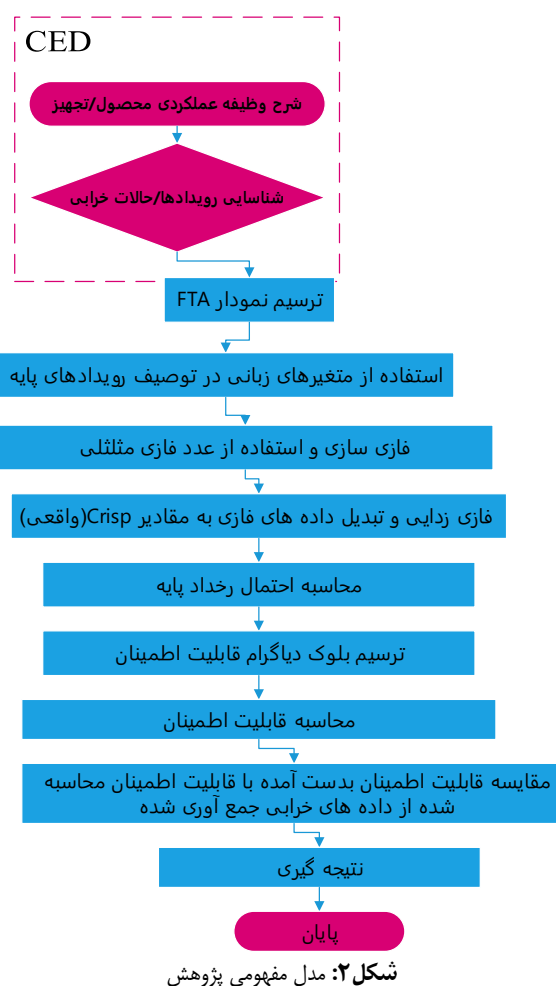
فرز CNC

قابلیت اطمینان زیرمجموعه‌های اصلی دستگاه فرز CNC بر اساس بلوک دیاگرام‌های قابلیت اطمینان و احتمال خرابی بدست آمده از روش پیشنهادی برای هفده رویداد پایه و قابلیت اطمینان هر یک از آنها در زمان ۱ ساعت، به صورت زیر است:

قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک

با توجه به اینکه ساختار بلوک دیاگرام سیستم هیدرولیک دارای ساختار سری است، لذا از معادلات حاکم بر ساختار سری در محاسبه قابلیت اطمینان استفاده می‌شود:

$$R_{TH} = R_{G_1} \times R_{G_2} \times R_{G_3} \times R_{H_1} \times R_{H_2} \times R_{H_3} \times R_{J_1} \times R_{J_2} \times R_{J_3} = 0.997645082 \quad (14)$$



نتایج و بحث

زیرسیستم‌های اصلی دستگاه فرز CNC چهار محور شامل سیستم هیدرولیک^۱، خنک کننده^۲، کلمگی (اسپیندل)^۳، محورها و بسترها^۴ و کنترل پنل^۵ است (شکل ۳) که وظیفه هر کدام در جدول (۲) آورده شده است همچنین نمودار علت و معلول در شکل (۴) نشان داده شده است. پس از اینکه حالات خرابی زیر مجموعه‌های دستگاه CNC شناسایی و رتبه‌بندی شدند و اقدامات اصلاحی برای رفع ایرادات انجام شد، خطاهای زیر به عنوان رویدادهای نهایی انتخاب شدند [22]:

- ۱) خطا در عملکرد سیستم هیدرولیک
- ۲) خطا در عملکرد سیستم خنک کننده
- ۳) خطا در عملکرد کلمگی و اسپیندل
- ۴) خطا در عملکرد محورها و بستر
- ۵) عملکرد نامناسب سیستم روشن کننده

سپس برای هر یک از این رویدادها در ماشین فرز CNC، درخت خطا ترسیم شده و پرسشنامه‌ای برای بیان چگونگی هر یک از این

⁴ Bed & Axis

⁵ Panel Control

⁶ Transforming Crisp Failure Probability (CFP)

¹ Hydraulic

² Cooling

³ Spindel

قابلیت اطمینان اسپیندل

$$R_{TS} = (1 - (1 - R_{P_4}) \times (1 - R_{P_5}) \times (1 - R_{P_7})) \times R_{P_1} \times R_{P_2} \times R_{P_3} \times R_{P_6} \times R_{Q_1} \times R_{Q_2} \times R_{Q_3} \times R_{Q_4} \times R_{Q_5} \times R_{Q_6} \times R_{Q_7} \times R_{R_1} = 0.996173 \quad (15)$$

قابلیت اطمینان سیستم خنک کننده

$$R_{TF} = R_{K_1} \times R_{K_2} \times R_{K_3} \times R_{K_4} \times R_{K_5} \times R_{K_6} \times R_{K_7} \times R_{M_1} \times R_{M_2} \times R_{M_3} \times R_{M_4} \times R_{N_1} \times R_{N_2} = 0.991887 \quad (16)$$

قابلیت اطمینان سیستم کنترل

$$R_{TC} = R_{A_1} \times R_{A_2} \times R_{A_3} \times R_{A_4} \times (1 - (1 - R_{B_1}) \times (1 - R_{B_2}) \times (1 - R_{B_3})) \times R_C \times (1 - (1 - R_{D_1}) \times (1 - R_{D_2}) \times (1 - R_{D_3}) \times (1 - R_{D_4})) \times (1 - (1 - R_{E_1}) \times (1 - R_{E_2}) \times (1 - R_{E_3}) \times (1 - R_{E_4})) \times (1 - (1 - R_{F_1}) \times (1 - R_{F_2})) = 0.941582 \quad (17)$$

قابلیت اطمینان محور و بستر

$$R_{TA} = R_{S_1} \times R_{S_6} \times R_{S_7} \times R_{A_4} \times (1 - (1 - R_{S_1}) \times (1 - R_{S_6}) \times (1 - R_{S_7})) \times (1 - (1 - R_{T_1}) \times (1 - R_{T_2})) \times R_{U_1} \times R_{U_2} \times (1 - (1 - R_{U_3}) \times (1 - R_{U_4}) \times R_{V_1} \times R_{V_2} \times R_{W_1} \times R_{X_1})) = 0.998015 \quad (18)$$

قابلیت اطمینان ماشین فرز CNC

$$R_{CNC} = R_{TC} \times R_{TA} \times R_{TH} \times R_{TF} \times R_{TS} = 0.926336 \quad (19)$$

صحه گذاری روش پیشنهادی با داده های واقعی

آدمی و راد، با استفاده از داده های تجربی و از روی خرابی جمع آوری شده برای دستگاه، در یک دوره ی زمانی هفت ساله با استفاده از روش زنجیره مارکوف قابلیت اطمینان دستگاه را ۹۳/۷۱٪ محاسبه کردند و در روش الگوریتم فازی قابلیت اطمینان این مقدار برابر ۹۲/۶۳٪ بدست آمد که دارای خطایی حدود ۱٪ است و روش پیشنهادی صحه گذاری می شود [22].

نتیجه گیری

در کاربردهای صنعتی و خدماتی، وقتی داده های کمی در دسترس نبوده و یا کمیاب هستند، استفاده از عبارات زبانی بوسیله متخصصین و تصمیم سازان برای محاسبه قابلیت اطمینان و بیان رفتار سیستم بسیار مفید است. در این مقاله، از الگوریتم CED-

FTA-Reliability فازی، برای شناسایی خرابی های رویدادهای پایه، احتمال خرابی، ترسیم درخت خطا و بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان، مدلسازی و محاسبه قابلیت اطمینان بر اساس روابط حاکم انجام شد.

جولوان هندری پاربا، نتایج تعیین قابلیت اطمینان فازی رویدادهای پایه درخت خطا در راکتور هسته ای را با مقادیر جمع آوری شده کمی در این صنعت مقایسه کردند و بیان کردند که استفاده از داده های زبانی در ارزیابی قابلیت اطمینان در جاییکه امکان دسترسی به داده های واقعی وجود ندارد، مفید است. نتایج بررسی ما نیز در صنایع تولیدی این ادعا را ثابت می کند.

آدمی و همکاران، با استفاده از داده های تجربی و از روی خرابی جمع آوری شده برای دستگاه فرز CNC، با استفاده از روش زنجیره مارکوف قابلیت اطمینان را بررسی کردند و سپس این اطلاعات به عنوان مبنایی برای پیاده سازی روش نگهداری و تعمیرات مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) مورد استفاده قرار دادند که روش الگوریتم فازی قابلیت اطمینان می تواند رویکرد مناسبی برای محاسبه قابلیت اطمینان تجهیزات و دستگاه ها و محصول و خدمات، زمانی که داده های تاریخی کمی در دسترس نیستند، باشد و در صنایع تولیدی و خدماتی کشور و در حوزه های مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

مزیت اصلی استفاده از عبارات زبانی در بررسی قابلیت اطمینان سیستم این است که چارچوب این روش بخاطر درک و بیان راحت نظرات متخصصین قابل توسعه است در صورتیکه هنگام استفاده از داده های کمی، داده ها قابلیت بسط و توسعه چندانی ندارند.

برای ارزیابی قابلیت اطمینان، پرسشنامه های کیفی ای بین متخصصین توزیع شد که در این پرسشنامه ها، پاسخ ها به صورت عبارات زبانی هستند. اعداد فازی مثلثی برای نمایش ویژگی های احتمال خرابی رویدادهای پایه و رویداد نهایی استفاده شد. این روش درخت خطای فازی در مقایسه با روش سنتی، نظام مندتر بوده و خطای کمتری نشان داده و احتمال خرابی را با دقت بیشتر ارائه داد.

استفاده از روش پیشنهادی، به مدیران و تیم های تامین و نگهداری کمک خواهد کرد که با دقت بهتری باز دیده ها و

under multiple types of uncertainties, Appl. Soft Comput. J. 65,69–78.

[10] A.S. Cheluyan, S.K. Bhattacharyya (2017), Fuzzy fault tree analysis of oil and gas leakage in subsea production systems, Journal of Ocean Engineering and Science, Volume 3, Issue 1.

[11] Sivaprakasam Rajakarunakaran a, A. Maniram Kumar. b, V. Arumuga Prabhu (2015), Applications of fuzzy faulty tree analysis and expert elicitation for evaluation of risks in LPG refuelling station, Journal of Loss Prevention in the Process Industries,33, 109-123.

[12] Masoud naseri & javad barabady (2014), Application of fuzzy set theory expert judgment in reliability analysis of the arctic oil and gas facilities, Paper presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Amsterdam, October 2014, The Netherlands.

[13] Ahmed Ali Baig, Risza Ruzli, and Azizul B Buang (2013), Reliability Analysis Using Fault Tree Analysis: A Review ,International Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol. 4, No 3.

[14] Andrija Volkanovski, Marko Cepin, Borut Mavko (2009), Application of the fault tree analysis for assessment of power system reliability, Reliability Engineering and System Safety, 94, 1116–1127.

[15] Dong yuhua, et al (2005), estimation of failure probability of oil gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis, journal of loss prevention in the process industries, 18,83-88.

[16] Kalaiarasi, A. Merceline Anita, R. Geethanjali (2017), Analysis of system reliability using markov technique, Global journal of pure and applied mathematics, vol13, pp.5265-5273.

[17] Anil Kumar Agrawal, V.M.S.R. Murthy, Somnath Chattopadhyaya (2019), Investigation into reliability, Maintainability and availability of tunnel boring machine operating in mixed ground condition using markov chain , Engineering failure analysis, pp.477-489.

[18] M. Stamatatos et al (2003), Fault tree handbook with aerospace application, nasa.

[19] Zadeh LA (1965), Fuzzy sets, Information and Control, Volume 8, Issue 3, Pages 338-353.

[20] Serafim Opricovic, Gwo-Hshiung Tzeng (2003), Defuzzification within a multicriteria decision model, International Journal of Uncertainty, Volume 11 Issue 5, pp 635–652.

[21] Milton ohring, Lucian kasprzak. (2006), Reliability and Failure of ELECTRONIC MATERIALS AND DEVICES, Second Edition, ISBN 978-0-12-088574-9, Academic Press is an imprint of Elsevier.

[22] آدمی، حجت اله، راد، عباس، (۱۴۰۰)، ارزیابی ریسک و محاسبه‌ی قابلیت اطمینان با استفاده از مدل یکپارچه، FMEA-FTA مورد مطالعه: دستگاه فرز CNC چهار محور، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مدیریت و حسابداری.

پیوست

دارد.

تعمیرات دوره‌ای را روی دستگاه پیاده کنند و در مقایسه با روش- های جاری سنتی به افزایش دسترس پذیری ماشین و همچنین بهبود قابلیت اطمینان ماشین کمک خواهد کرد.

- در این تحقیق فقط از عدد فازی مثلثی و مقیاس هفت تایی لیکرت استفاده شد. به منظور مقایسه‌ی بهتر و صحت گذاری این روش، در تحقیقات آتی می‌توان از سایر اعداد فازی و مقیاسهای کیفی لیکرت استفاده نمود و با داده‌های خرابی جمع‌آوری شده از صنایع تولیدی دیگر مورد بررسی و صحت گذاری قرار گیرد و در صورت لزوم توسعه و بهبود داده شود.

اطلاعات تکمیلی

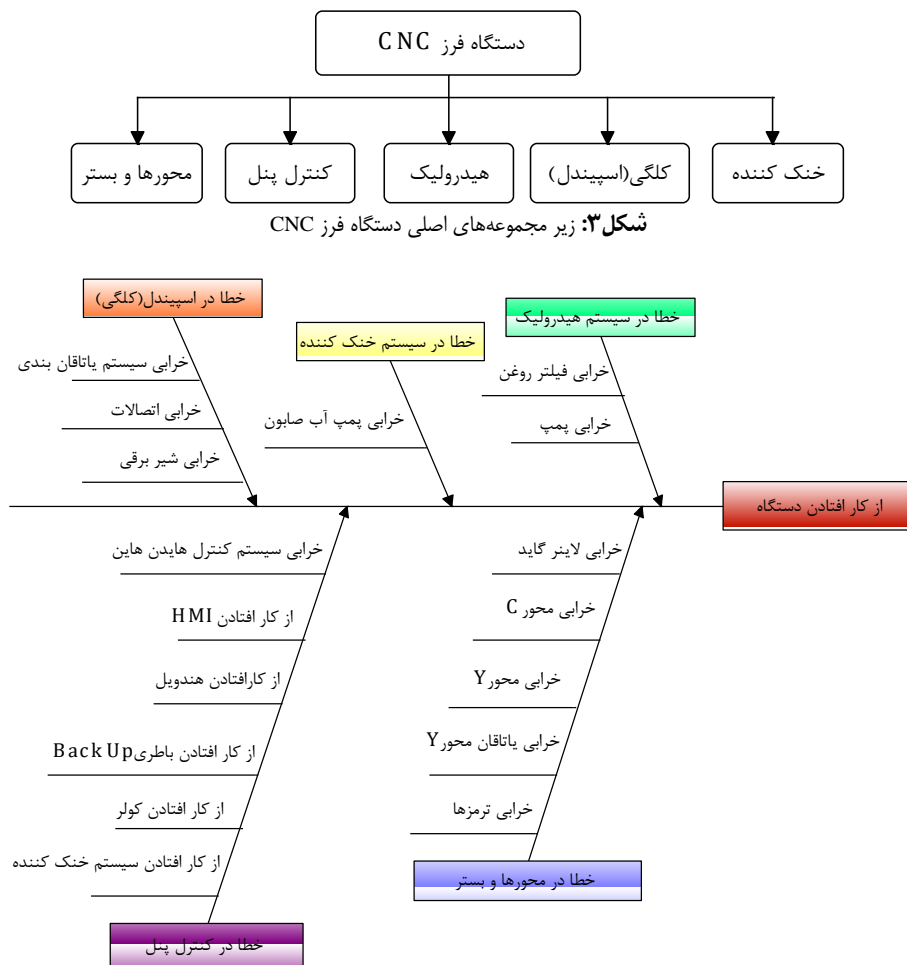
فایلهای کامل پرسشنامه، نمودار درختی و بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان دستگاه فرز CNC در ۱۴ صفحه در صورت نیاز قابل دسترس است و نمونه‌ای از آن در مقاله آمده است.

مراجع

- [1] آدمی، حجت اله و همکاران (۱۴۰۰)، تخمین دسترس پذیری ماشین فرز CNC با استفاده از زنجیره مارکوف، نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت، جلد ۱۱، شماره ۲، ۱۴۰۰، ص ۱۲۶-۱۰۷.
- [2] T. Onisawa (1988), An approach to human reliability in man-machine systems using error possibility", Fuzzy sets syst.27(2),87-103.
- [3] Miri Lavasani, M.R, Wang, J. Yang (2011), Application of Fuzzy Fault Tree Analysis on Oil and Gas Offshore Pipelines, Int. J. Mar.Sci.Eng.29-42.
- [4] Bin Bai, Chuxiong Xie, Xiangdong Liu, Wei Li, Weiyu Zhong (2022), Application of integrated factor evaluation-analytic hierarchy process-T-S fuzzy fault tree analysis in reliability allocation of industrial robot systems, Applied soft computing 115, 10428.
- [5] Rui Ding, Zehua Liu, Jintao Xu, Fanpeng Meng, Yang Sui, Xinhong (2021), A novel approach for reliability assessment of residual heat removal system for HPR1000 based on failure mode and effect analysis, fault tree analysis, and fuzzy Bayesian network methods, reliability engineering and system safety, 216, 107911.
- [6] Hamed Fazlollahtabar, and seyed Taghi Akhavan Niaki (2019), Fault tree analysis for reliability evaluation of an advanced complex manufacturing system", Journal of advanced Manufacturing systems, Vol.17No.1, 107-118.
- [7] He Ren, Xi Chen and Yong Chen (2017), reliability based aircraft maintenance optimization and applications, Elsevier Inc.
- [8] Julwan Henry Purba, et al (2014), Fuzzy Reliability assessment of basic events of fault trees through qualitative data processing, Fuzzy Sets syst.243, 50-69.
- [9] L. ling Li, C.M. Lv, M.L. Tseng, J. Sun (2018), Reliability measure model for electromechanical products

جدول ۲: وظیفه اجزاء

وظیفه	جزء
انتقال حرکت و تامین نیرو با استفاده از سیال و هوای فشرده	سیستم هیدرولیک و پنوماتیک
کاهش اصطکاک بین قطعات و ممانعت از اثرات مخرب رطوبت، زنگ زدگی، اسیدها(عوامل محیطی) بر روی اجزاء دستگاه	سیستم روغن کاری
کنترل اجزاء مکانیکی با کنترل جریان و ولتاژ	کنترل پنل
انتقال مایع خنک کننده روی ابزار و قطعه کار	سیستم خنک کننده
تامین حرکت قطعه کار را در چهار محور شامل سه حرکت انتقالی درجهت های Z, X, Y و چرخش حول محور Y(Θ _Y)	مجموعه ی بستر و محورها
انجام عملیات ماشین کاری قطعات	کلگی



شکل ۴: نمودار استخوان ماهی/علت و معلول دستگاه فرز CNC

جدول ۳: ماتریس فازی با لحاظ کردن وزن متخصصین رویدادهای پایه مجموعه سیستم کنترل

رویدادهای پایه	EX1=0.293	EX2=0.154	EX3=0.227	EX4=0.252	EX5=0.074	مجموع
A1	0,0.0293,0.0879	0,0.0154,0.0462,0.077	0,0.0227,0.0681,0.1135	0,0.252,0.0756,0.126	0,0.0074,0.0222,0.037	0,0.0707,0.2414,0.432
A2	0,0.0293,0.0879	0,0.0154,0.0462	0,0.0227,0.0681	0,0.0252,0.0756	0,0.0074,0.0222,0.037	0,0.0074,0.1148,0.3148
A3	0,0.0293,0.0879	0,0.0154,0.0462	0,0.0227	0,0.0252	0,0.0074,0.0222	0,0.0521,0.2042
A4	0,0.0293,0.0879,0.1465	0,0.0154,0.0462,0.077	0,0.0227,0.0681,0.1135	0,0.0252,0.0756	0,0.0074,0.0222	0,0.0674,0.2348,0.4348
B1	0,0,0.0293	0,0,0.0154	0,0,0.0227	0,0,0.0252	0,0,0.0074	0,0,0,0.1
B2	0,0.0879,0.1465,0.2051	0,0.0154,0.0462,0.077	0,0.0681,0.1135,0.1589	0,0.0252,0.0756	0,0.0074,0.0222,0.037	0,0.2706,0.3536,0.5536
B3	0,0.1465,0.2051,0.2637	0,0.077,0.1078,0.1386	0,0.0681,0.1135,0.1589	0,0.1764,0.2268,0.252	0,0.0518,0.0666,0.074	0,0.5198,0.5996,0.8872
C1	0,0.2051,0.2637,0.293	0,0.1078,0.1386,0.154	0,0.1589,0.2043,0.227	0,0.2268,0.252,0.252	0,0.0518,0.0666,0.074	0,0.5198,0.9251,1
D1	0,0.0293,0.0879	0,0.0154,0.0462	0,0,0.0227	0,0.0252,0.0756,0.126	0,0,0.0074	0,0.0252,0.0674,0.2274
D2	0,0.0293,0.0879	0,0.0154,0.0462	0,0.0227,0.0681	0,0,0.0252	0,0.0074,0.0222	0,0.0674,0.2348
D3	0,0,0.0293	0,0.0154,0.0462,0.077	0,0,0.0227	0,0.0252,0.0756	0,0.0074,0.0222	0,0.0154,0.0788,0.2268
D4	0,0,0.0293	0,0,0.0154	0,0.0227,0.0681	0,0.0252,0.0756	0,0,0.0074	0,0,0.0553,0.2106
E1	0,0.0293,0.0879	0,0.0154,0.0462	0,0.0227,0.0681	0,0.0252,0.0756,0.126	0,0.0074,0.0222,0.037	0,0.0252,0.143,0.3356
E2	0,0,0.0293	0,0.0154,0.0462	0,0.0227,0.0681,0.1135	0,0.0252,0.0756	0,0.0074,0.0222	0,0.0301,0.1309,0.3106
E3	0,0.0293,0.0879	0,0.0154,0.0462	0,0,0.0227	0,0.0252,0.0756,0.126	0,0.0074,0.0222	0,0.0252,0.1277,0.305
E4	0,0.0293,0.0879,0.1465	0,0,0.0154	0,0.0227,0.0681	0,0.0252,0.0756	0,0.0222,0.037,0.0518	0,0.0293,0.1423,0.3278

F1	0.0293,0.0879,0.1465	0.0462,0.077,0.1078	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074,0.0222	0.977,0.2498,0.4498
F2	0.0293,0.0879,0.1465	0,0,0.0154	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0,0,0.0074,0.022	0.0293,0.1423,0.3277

جدول ۴: ماتریس فازی با لحاظ کردن وزن متخصصین رویدادهای پایه مجموعه اسپیندل

رویدادهای پایه	EX1=0.293	EX2=0.154	EX3=0.227	EX4=0.252	EX5=0.074	مجموع
P1	0.0293,0.0879,0.1465	0.0154,0.0462,0.077	0.0681,0.1135,0.1078	0.252,0.0756,0.126	0.0222,0.037,0.0518	0.1602,0.3602,0.5091
P2	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0674,0.2348
P3	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0926,0.2852
P4	0.0293,0.0879,0.1465	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0074,0.0222,0.037	0.0367,0.1734,0.3734
P5	0.0293,0.0879,0.1465	0.0462,0.077,0.1078	0.0227,0.0681,0.1135	0.252,0.0756,0.126	0.0222,0.037,0.0518	0.1456,0.3456,0.5456
P6	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0773,0.2546
P7	0.0879,0.1465,0.2051	0.0462,0.077,0.1078	0.0681,0.1135,0.1078	0.252,0.0756,0.126	0.0074,0.0222,0.037	0.1762,0.3753,0.5837
Q1	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0227,0.0681,0.1135	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074,0.0222	0.0227,0.1454,0.3454
Q2	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.052,0.204
Q3	0.0,0.0293	0.0,0.0154	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0227,0.1454
Q4	0.0,0.0293	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0707,0.2414
Q5	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0521,0.2042
Q6	0.0,0.0293	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0406,0.1812
Q7	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0293,0.1586
Q8	0.0,0.0293	0.0,0.0154	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0301,0.1602
R1	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0447,0.1894

جدول ۵: ماتریس فازی با لحاظ کردن وزن متخصصین رویدادهای پایه مجموعه محور و بستر

رویدادهای پایه	EX1=0.293	EX2=0.154	EX3=0.227	EX4=0.252	EX5=0.074	مجموع
S1	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0326,0.2546
S2	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0699,0.2398
S3	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.052,0.204
S4	0.0,0.0293,0.0879	0.0154,0.0462,0.077	0.0,0.0227,0.0681	0.252,0.0756,0.126	0.0,0.0074,0.0222	0.0408,0.1812,0.3812
S5	0.0293,0.0879,0.1465	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0074,0.0222,0.037	0.0367,0.1734,0.409
S6	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0748,0.2496
S7	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154	0.0,0.0227	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0545,0.209
S8	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0699,0.083
S9	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0699,0.2398
T1	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0926,0.2852
T2	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0447,0.1894
U1	0.0293,0.0879,0.1465	0.0154,0.0462,0.077	0.0227,0.0681,0.1135	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074,0.0222	0.0674,0.2348,0.4348
U2	0.0,0.0293	0.0,0.0154	0.0,0.0227	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0326,0.1652
U3	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0894,0.1894
U4	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0594,0.2179
V1	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0674,0.2348
V2	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154	0.0,0.0227	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0545,0.209
W1	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0926,0.2852
X1	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0227,0.0681,0.1135	0.0,0.0252,0.0756	0.0074,0.0222,0.037	0.0301,0.1602,0.3602

جدول ۶: ماتریس فازی با لحاظ کردن وزن متخصصین رویدادهای پایه سیستم هیدرولیک

رویدادهای پایه	EX1=0.293	EX2=0.154	EX3=0.227	EX4=0.252	EX5=0.074	مجموع
G1	0.0293,0.0879,0.1465	0.0154,0.0462,0.077	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0074,0.0222,0.037	0.0521,0.2042,0.4042
G2	0.0293,0.0879,0.1465	0.0,0.0154,0.0462	0.0227,0.0681,0.1135	0.252,0.0756,0.126	0.0,0.0074,0.0222	0.0772,0.2544,0.4544
G3	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0521,0.2042
G4	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0699,0.2398
G5	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0447,0.1894
H1	0.0,0.0293	0.0,0.0154	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0553,0.2106
H2	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0293,0.1586
H3	0.0,0.0293	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0228,0.1456
J1	0.0,0.0293	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0154,0.1308
J2	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0293,0.1586
J3	0.0,0.0293	0.0,0.0154	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0074,0.1148

جدول ۷: ماتریس فازی با لحاظ کردن وزن متخصصین رویدادهای پایه مجموعه سیستم خنک کننده

رویدادهای پایه	EX1=0.293	EX2=0.154	EX3=0.227	EX4=0.252	EX5=0.074	مجموع
K1	0.0293,0.0879,0.1465	0.0462,0.077,0.1078	0.0227,0.0681,0.1135	0.252,0.0756,0.126	0.0074,0.0222,0.037	0.1308,0.3308,0.5308
K2	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0521,0.2042
K3	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0293,0.1586
K4	0.0293,0.0879,0.1465	0.0,0.0154,0.0462	0.0227,0.0681,0.1135	0.252,0.0756,0.126	0.0,0.0074,0.0222	0.0772,0.2544,0.4544
K5	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0929,0.2852
K6	0.0293,0.0879,0.1465	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.252,0.0756,0.126	0.0,0.0074,0.0222	0.0545,0.209,0.409
M1	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.0674,0.2348
M2	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0074,0.0222,0.037	0.0074,0.1148,0.3148
M3	0.0,0.0293	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0707,0.2414
M4	0.0,0.0293	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227	0.0,0.0252	0.0,0.0074,0.0222	0.0,0.0228,0.1308
N1	0.0,0.0293,0.0879	0.0,0.0154	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252	0.0,0.0074	0.0,0.052,0.204
N2	0.0,0.0293	0.0,0.0154,0.0462	0.0,0.0227,0.0681	0.0,0.0252,0.0756	0.0,0.0074	0.0,0.0633,0.2266

جدول ۸: مقادیر فازی زدایی (قطعی)، احتمال خرابی و قابلیت اطمینان سیستم کنترل دستگاه فرز CNC

رویدادهای پایه	مقدار فازی زدایی شده	K	مقدار احتمال خرابی (FP)	$R = e^{-(FP) \times t}$
A1	0.248033	2.939497	0.001149	0.998851
A2	0.145667	3.662677	0.000217	0.999783
A3	0.085433	4.47617	3.34E-05	0.999967
A4	0.245667	2.951993	0.001117	0.998884
B1	0.033333	6.239897	5.76E-07	0.999999
B2	0.362	2.453281	0.003521	0.996485
B3	0.7474	1.414718	0.038484	0.962247
C1	0.814967	1.239024	0.057673	0.943958
D1	0.106667	4.124497	7.51E-05	0.999925
D2	0.100467	4.217365	6.06E-05	0.999939
D3	0.107	4.119702	7.59E-05	0.999924
D4	0.088633	4.416476	3.83E-05	0.999962
E1	0.167933	3.462454	0.000345	0.999655
E2	0.1575	3.552001	0.000281	0.999719
E3	0.152633	3.596259	0.000253	0.999747
E4	0.166467	3.474627	0.000335	0.999665
F1	0.558867	1.876997	0.013274	0.986814
F2	0.166433	3.47491	0.000335	0.999665

جدول ۹: مقادیر فازی زدایی (قطعی)، احتمال خرابی و قابلیت اطمینان اسپیندل دستگاه فرز CNC

رویدادهای پایه	مقدار فازی زدایی شده اسپیندل	K	مقدار احتمال خرابی (FP)	$R = e^{-(FP) \times t}$
P1	0.343167	2.521698	0.003008167	0.996996353
P2	0.100733	4.213234	6.12021E-05	0.9999388
P3	0.125933	3.874167	0.000133608	0.999866401
P4	0.194833	3.25925	0.00055049	0.999449661
P5	0.3456	2.512656	0.003071451	0.996933261
P6	0.110633	4.068572	8.53941E-05	0.99991461
P7	0.3784	2.396422	0.00401401	0.995994035
Q1	0.171167	3.436046	0.000366399	0.999633668
Q2	0.085333	4.478081	3.32598E-05	0.999966741
Q3	0.056033	5.20652	6.21555E-06	0.99993784
Q4	0.091633	4.362945	4.33566E-05	0.999956644
Q5	0.085433	4.47617	3.34064E-05	0.999966594
Q6	0.073933	4.716769	1.91969E-05	0.999980803
Q7	0.062633	5.005092	9.88344E-06	0.999990117
Q8	0.063433	4.982544	1.04101E-05	0.99998959
R1	0.078033	4.625822	2.36689E-05	0.999976331

جدول ۱۰: مقادیر فازی زدایی (قطعی)، احتمال خرابی و قابلیت اطمینان محورها و بستر دستگاه فرز CNC

رویدادهای پایه	مقدار فازی زدایی شده	K	مقدار احتمال خرابی (FP)	$R = e^{-(FP) \times t}$
S1	0.095733333	4.293265	5.0902E-05	0.999949099
S2	0.103233333	4.175064	6.68246E-05	0.999933178
S3	0.085333333	4.478074	3.32603E-05	0.99996674
S4	0.201066667	3.216869	0.000606919	0.999393265
S5	0.206366667	3.182023	0.000657622	0.999342594
S6	0.108133333	4.103521	7.87914E-05	0.999921212
S7	0.087833333	4.431134	3.70566E-05	0.999962944
S8	0.050966667	5.383214	4.13795E-06	0.999995862
S9	0.103233333	4.175064	6.68246E-05	0.999933178
T1	0.125933333	3.874163	0.000133609	0.999866399
T2	0.078033333	4.625815	2.36693E-05	0.999976331
U1	0.245666667	2.951995	0.001116876	0.998883747
U2	0.065933333	4.914366	1.21796E-05	0.99998782
U3	0.092933333	4.340427	4.56639E-05	0.999954337
U4	0.092433333	4.349038	4.47674E-05	0.999955234

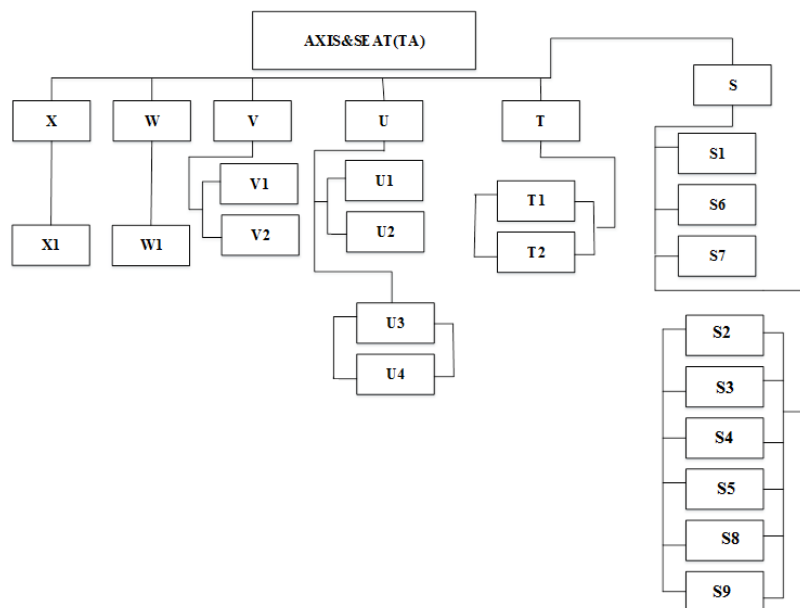
V1	0.100733333	4.213229	6.12028E-05	0.999938799
V2	0.089466667	4.401372	3.96851E-05	0.999960316
W1	0.125933333	3.874163	0.000133609	0.999866399
X1	0.1835	3.34054	0.000456521	0.999543584

جدول ۱۱: مقادیر فازی زدایی (قطعی)، احتمال خرابی و قابلیت اطمینان سیستم هیدرولیک دستگاه فرز

رویدادهای پایه	مقدار فازی زدایی شده	K	مقدار احتمال خرابی (FP)	$R = e^{-(FP) \times t}$
G1	0.220167	3.095944	0.002699848	0.997303793
G2	0.262	2.868324	0.001354177	0.998646739
G3	0.085433	4.47617	3.34064E-05	0.999966594
G4	0.103233	4.175069	6.68238E-05	0.999933178
G5	0.078033	4.625822	2.36689E-05	0.999976331
H1	0.088633	4.416476	3.83287E-05	0.999961672
H2	0.062633	5.005092	9.88344E-06	0.999990117
H3	0.056133	5.203243	6.26263E-06	0.999993737
J1	0.048733	5.468518	3.40002E-06	0.9999966
J2	0.062633	5.005092	9.88344E-06	0.999990117
J3	0.062933	4.996593	1.00788E-05	0.999989921

جدول ۱۲: مقادیر فازی زدایی سیستم خنک کننده دستگاه فرز CNC

رویدادهای پایه	مقدار فازی زدایی شده	K	مقدار احتمال خرابی (FP)	$R = e^{-(FP) \times t}$
K1	0.3308	2.568661	0.0027	0.997304
K2	0.085433333	4.476163	3.34E-05	0.999967
K3	0.062633333	5.005083	9.88E-06	0.99999
K4	0.262	2.868324	0.001354	0.998647
K5	0.126033333	3.87299	0.000134	0.999866
K6	0.224166667	3.07215	0.000847	0.999153
M1	0.100733333	4.213229	6.12E-05	0.999939
M2	0.145666667	3.66268	0.000217	0.999783
M3	0.0512	5.374584	4.22E-06	0.999996
M4	0.085333333	4.478074	3.33E-05	0.999967
N1	0.096633333	4.278475	5.27E-05	0.999947
N2	0.3308	2.568661	0.0027	0.997304



شکل ۵: بلوک دیاگرام قابلیت اطمینان (RBD) محورها و بستر

جدول ۱۳: پرسشنامه تکمیل شده خطا در عملکرد محورها و بستر با استفاده از

نظرات متخصصین با عبارات زبانی

پرسشنامه تحلیل درخت خطا						
علائم اختصاری تحلیل درخت خطا						
از کار افتادن و توقف کامل دستگاه فرز CNC چهار محور						T _{CNC}
عملکرد نامناسب محورها و بسترها						T _A
عملکرد نامناسب محور Y						S
عملکرد نامناسب محور B						T
عملکرد نامناسب محور C						U
عملکرد نامناسب محور Z						V
عملکرد نامناسب میز مکانیکی						W
عملکرد نامناسب درب کابین						X
EX5	EX4	EX3	EX2	EX1	سوالات	
L	L	VL	L	L	S1	چقدر احتمال اعلام وجود خطا وجود دارد؟
VL	L	VL	L	L	S2	چقدر احتمال خراب شدن رفرنس دهی میز بزرگ وجود دارد؟
VL	VL	L	VL	L	S3	چقدر احتمال اعلام خطای دائمی عدم روغنکاری محورها وجود دارد؟
L	ML	L	ML	L	S4	چقدر احتمال خرابی اینکودر موتور محور Y وجود دارد؟
ML	L	L	L	ML	S5	چقدر احتمال خرابی لاینر گاید ناشی از خوردگی، شکستگی و ... وجود دارد؟
L	VL	L	L	L	S6	چقدر احتمال خرابی کاور وجود دارد؟
VL	L	VL	VL	L	S7	چقدر احتمال وجود صدای اضافی ناشی از خرابی بلبرینگ وجود دارد؟
VL	L	VL	L	L	S8	چقدر احتمال خرابی موتور میز بزرگ

رویدادها

					رفرنس دهی وجود دارد؟	
VL	L	VL	L	L	چقدر احتمال خرابی اینکودر موتور محور Y وجود دارد؟	S9
VL	L	L	L	L	چقدر احتمال خراب شدن هندویل وجود دارد؟	T1
VL	VL	VL	L	L	چقدر احتمال خراب شدن شیر هیدرولیک وجود دارد؟	T2
L	L	ML	ML	ML	چقدر احتمال روغنکاری نامناسب و بالا رفتن دما وجود دارد؟	U1
L	L	VL	VL	VL	چقدر احتمال خراب شدن میز وجود دارد؟	U2
VL	VL	VL	L	L	چقدر احتمال قفل کردن محور به دلیل خرابی اینکودر وجود دارد؟	U3
L	VL	L	VL	L	چقدر احتمال خراب شدن بلبرینگ وجود دارد؟	U4
VL	VL	L	L	L	چقدر احتمال لقی در محور Z وجود دارد؟	V1
VL	L	VL	VL	L	چقدر احتمال خراب شدن کابل وجود دارد؟	V2
VL	L	L	L	L	چقدر احتمال خراب شدن لاینر گاید وجود دارد؟	W1
ML	L	ML	L	L	چقدر احتمال تنظیم نبودن میکروسوئیچ وجود دارد؟	X1