Archive of SID

2th International Conference on Industrial Management
19 & 20 April 2017
دومین کنفرانس بین المللی مدیریت صنعتی
(30 و 31 فروردین 1396)

ارزیابی ریسک‌های شکست تجهیزات نیروگاه برق شهید سلیمی نکا با استفاده از سیستم استنتاج فازی

نام نویسندگان:

محمد ولی پور خطیر[1]، عبدالحمید صفایی قادیکلائی[2]، الهه شاکری کناری[3]

1. استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه مازندران، m.khatir1461@gmail.com
2. دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه مازندران، ab.safaei@umz.ac.ir
3. دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی دانشگاه مازندران، e.shakeri90@yahoo.com

چکیده:

با توجه به اهمیت زیاد تجهیزات و دستگاه‌های نیروگاه برق و افزایش روزافزون هزینه‌های ناشی از خرابی این دستگاه‌ها، اهمیت مدیریت نگهداشت روز به روز بیشتر می‌گردد. هدف از این مقاله شناسایی و اولویت بندی شکست‌های دستگاه‌ها و ماشین آلات در نیروگاه برق می‌باشد که از یک رویکرد مبتنی بر FMEA فازی استفاده کرده و با بهره‌گیری از سیستم استنتاج فازی چند مرحله‌ای اقدام به ارزیابی شکست‌ها می‌کند. داده‌های اصلی تحقیق حاضر با روش میدانی و از طریق مصاحبه با خبرگان جمع آوری شده است. به این ترتیب که ابتدا با نظر سنجی از خبرگان، دستگاه‌های مهم و سپس شکست‌های با اهمیت برای هریک از دستگاه‌های نامبرده فهرست شدکه در ادامه از این اطلاعات به منظور تشکیل FMEA فازی و مدل سیستم استنتاج فازی استفاده می‌شود. براساس مطالعات، شکست "نشتی لوله کندانسور" در دستگاه کندانسور توربین و "خرابی بوش نگهدارنده بلبرینگ" در دستگاه الکتروموتور دارای بیشترین ریسک بوده و شکست‌های دستگاه‌های دیگر به ترتیب در اولویت‌های پایین‌تر قرار می‌گیرند.

واژگان کلیدی:

سیستم استنتاج فازی، تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست

Assessment the Failure Risk of Equipment in shahid salimi Power plant using Fuzzy Inference System

BY:

Mohammad Valipour Khatir[1], Abdolhamid Safaei Ghadikolaei[2], Elahe shakeri kenari[3]

1. Assistant Prof. and faculty member of the Department of Industrial Management, The University of Mazandaran, m.khatir1461@gmail.com.
2. Associate Prof. and faculty member of the Department of Industrial Management, The University of Mazandaran, ab.safaei@umz.ac.ir
3. Master Student, The University of Mazandaran, e.shakeri90@yahoo.com

Abstract

www.SID.ir

Archive of SID

Given the importance of power plant equipment and devices and increasing costs arising from damage to these devices, it is increasingly important maintenance management. The purpose of this paper is to identify and prioritize the failures of the devices and machines are in power plant that use of an approach based on fuzzy FMEA and utilizes multi-stage Fuzzy Inference System to assess the failures. The research main data with field study was collected through interviews with experts. In this way, in the first step , the experts listed the important devices and failures for each of the devices in order to form fuzzy FMEA and fuzzy inference system model. According to studies, the failure of "leaking condenser tubes" in the turbine condenser and failure of "Bush retainer ball bearing"in the Electro-Motor has the greatest risk, And the failure of other devices are lower priorities.

Key Words:
Fuzzy Inference System, Failure modes and Effect Analysis

مقدمه:

تقاضای روزافزون انرژی برق در کشور، وزارت نیرو را ناگزیر به سرمایه‌گذاری انبوه در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع برق کرده است. در این میان عدم قطعیت‌ها، لایه‌های متعدد تصمیم‌گیری، و پیچیده‌تر شدن فناوری‌های این صنعت، چالش‌ها و ریسک-های فراوانی را در تحقق این اهداف به وجود آورده است(کلاهان و همکاران،1393). از جمله ریسک‌های مورد توجه در این زمینه، ریسک ناشی از شکست‌ها و حوادثی است که در ماشین آلات و تجهیزات نیروگاه‌های برق رخ می‌دهد. در واقع حالت شکست؛ یک واقعه، رویداد یا وضعیتی نامشخص است که وقوع آن می تواند اثری منفی روی هزینه، کیفیت، زمان و نظایر آن‌ها داشته باشد(زانگ و چو[1]، 2011). به این منظور یکی از تکنیک‌های مهندسی که برای تعریف، شناسایی و حذف خطرات بالقوه در فرآیندها و یا خدمات قبل از ارائه‌ی آن به مشتری به کار می‌رود تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خطا و اثرات آن(FMEA[2]) می‌باشد.

تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست (FMEA[3]) یکی از ابزارهای ارزیابی و مدیریت ریسک است که به طور گسترده در صنایع تولیدی در مراحل مختلف چرخه عمر محصول استفاده می‌شود و امروزه نیز به طور فزاینده‌ای در صنایع خدماتی به کار گرفته می‌شود. در دیدگاه سنتی از یک عدد اولویت ریسک (RPN[4]) برای ارزیابی سطح ریسک در اجزا و فرآیندهای مختلف استفاده می‌شود که این عدد از حاصل ضرب سه عامل تشخیص[5](D)، احتمال وقوع خطا[6] (O) وشدت خطا[7] (S) به دست می آید(رفیعی و صمیمی، 2015). علی‌رغم سادگی و قالب فهم بودن تکنیک مزبور انتقاداتی نیز بر آن وارد شده است که از آن جمله می‌توان به چشم پوشی از نظرات کارشناسان مختلف و عدم قطعیت در ایده‌های آن‌ها (وانگ[8]، 2009) اشاره کرد که با سیستم‌های پیچیده و دنیای واقعی چندان سازگاری ندارند.

FMEA فازی ابزاری است که می تواند در شرایطی که عدم اطلاعات کافی در مورد مسائل وجود دارد و یا شرایط مبهم است مورد استفاده قرار گیرد(ریورا و همکاران[9]، 2009). استفاده از متغیرهای کلامی در رویکرد فازی به خبرگان اجازه میدهد تا

[1] zhang & chu
[2] Failure modes and Effect Analysis
[3] Failur Mode and Effect Analysis
[4] Risk Priority Number
[5] Detection
[6] Occurance
[7] Severity
[8] Wang
[9] Rivera et al

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیر معنادارتر و ملموس‌تری را به پارامترهای سه گانه تخصیص دهند و این مسئله می‌تواند کارآیی FMEA را بهبود بخشد(کومرا[1]، 2013).

بعد از معرفی FMEA فازی، برخی محققان در مقالات خود به بهبود این روش همت گماشتند و از سیستم‌هایی به نام سیستم استنتاج فازی استفاده کردند که قابلیت ترکیب شدن با دانش خبرگان را داشته و نتایج قابل تفسیری را توسط آن‌ها ارائه می-دهدکه استفاده از این سیستم‌ها کار را برای کاربران بی تجربه آسان می‌کند(اسپاس[2]، 2003).

قابل ذکر است که سیستم استنتاج فازی دارای سه رکن مجموعه‌های فازی، قواعد اگر-آنگاه فازی و استدلال فازی است (روس[3]، (روس[3]، 1995). سیستم های استنتاج فازی به طور موفقیت آمیزی در زمینه های مختلفی مانند کنترل اتوماتیک، طبقه بندی داده‌ها، تحلیل تصمیم و سیستم های خبره به کار گرفته شده اند. ممدانی و اصیلیان در سال 1975 بیان کردند که مفاهیم مجموعه های فازی و منطق فازی برای تفسیر یک مجموعه کاملاً بدون ساختار در فناوری هوش مصنوعی به کار می رود(ممدانی و اصیلیان[4]، 1975). که سیستم های ممدانی یکی از رایج ترین الگوریتم های منطق فازی است که مکانیزم استنتاج آن بر مبنای ترکیبی از قواعد استنتاج است.

نیروگاه برق شهید سلیمی نکا به عنوان یکی از نیروگاه های استراتژیک کشور با ظرفیت تولید 2 هزار و 214 مگاوات برق، تقریباً 6 درصد از برق کشور را تولید می‌کند که یکی از مهم‌ترین و بزرگترین نیروگاه های تولید برق در خاورمیانه به شمار می‌رود و به همین دلیل در دوران جنگ تحمیلی یکی از اهداف اصلی ارتش عراق انهدام دیگ‌های بخار و توربین‌های تولید برق و در نتیجه تعطیلی نیروگاه مزبور بوده است. حوادث و شکست‌ها در ماشین آلات و تجهیزات نیروگاه برق و عدم تعمیر به موقع و اساسی آن‌ها می‌تواند مشکلات عدیده‌ای در منطقه و کشور ایجاد کند، از این رو ارزیابی ریسک شکست های تجهیزات در این نیروگاه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. تحقیق حاضر نیز در صدد است تا با استفاده از رویکرد FMEA فازی و تلفیق آن با سیستم استنتاج فازی به شناسایی حالات و اثرات شکست و ارزیابی آن‌ها بپردازد.

مبانی نظری:

تجزیه و تحلیل حالات و اثرات شکست[5](FMEA) برای نخستین بار در سال 1950 در یک شرکت هواپیمایی برای ارزیابی ایمنی سیستم و آنالیز قابلیت اطمینان به کار گرفته شد(آسرود و همکاران[6]، 2001) و در دهه 1960 شرکت ناسا تکنیک مزبور مزبور را برای فضاپیماهای خود به کار برد (داگسویو و همکاران[7]، 2016) و پس از آن در صنایع خودرو سازی به کار گرفته شد.

این تکنیک یک روش پیشگیرانه است که مانع از کار افتادن سیستم قبل از وقوع می‌شود که سه عامل تشخیص (D)، شدت خطا (S) و احتمال وقوع (O) را به کار می‌گیرد. در دیدگاه سنتی هر یک از این پارامترها در یک مقیاس 10-1 رتبه بندی شده‌اند که حاصل ضرب این سه معیار تعیین کننده‌ی مقدار عدد اولویت ریسک (RPN) می‌باشد. این نتایج به تحلیل گران کمک می‌کند تا شکست ها و عوامل آن‌ها را شناسایی کنند و بر روی شکست‌هایی که بالاترین میزان RPN را دارند تمرکز کنند(داگسویو و همکاران، 2016). این رویکرد به دلیل روشی که برای محاسبه‌ی شاخص عدد اولویت ریسک دارد همواره مورد انتقاد محققان است (کومرا و همکاران[8]، 2013). که برخی از این نقاط ضعف به شرح زیر می باشد:

---

[1] Kumra
[2] Spath
[3] Ross
[4] Mamdani & Asilian
[5] failuar mode & effect analysis
[6] Aaserud et al, 2001
[7] Dagsuyu et al
[8] Kumra et al

www.SID.ir

Archive of SID

1- مقادیر متغیرهای ورودی FMEA اغلب از تجربیات تیم کاری و قضاوت خبرگان به دست می‌آیند ولی گاهی به دلیل اشتباهات، تناقض ها، نبود قطعیت و ابهام‌های موجود در قضاوت آنان، ارزیابی ریسک با استفاده از این شاخص، وبه این شکل ناکافی به نظر می رسد(کومرا و همکاران، 2013).

2- ترکیبات مختلف از D,S,O می توانند منجر به تولید مقادیر یکسانی برای RPN شوند، در صورتی که حالات شکست با RPN یکسان ممکن است مفاهیم خطر کاملاً متفاوتی از یکدیگر داشته باشند(کومرا و همکاران، 2013).

3- فرض بر این است که سه متغیر D,S,O اهمیت نسبی یکسانی دارند. این موضوع منجر به ساده سازی بیش از حد این روش می شود. در صورتی که در واقعیت درجه اهمیت و وزن این سه پارامتر می توانند متفاوت از یکدیگر باشند(زانگ و چو[1]، 2011).

این اشکالات با استفاده از متغیرهای زبانی در منطق فازی بر طرف می‌گردد چرا که استفاده از متغیرهای زبانی ابهام‌ها و عدم قطعیت هایی که در ذهن افراد است را پوشش می دهد. منطق فازی و روش ارزیابی ریسک فازی بر مبنای مجموعه های فازی ابتدا توسط پروفسور لطفی‌زاده(1956) برای فرآیندهای پیچیده و موقعیت‌هایی که نیاز به راه‌حل‌های تقریبی بیشتر از راه‌حل-های واقعی است به کار گرفته شد که یک شیوه‌ی معنادار و انعطاف پذیر برای ارزیابی ریسک‌های مرتبط با حالت‌های شکست اجزا یا اقلام ارائه می‌کند. در این راستا مطالعات زیادی در زمینه بکارگیری منطق فازی در روش FMEA در رشته‌های علمی مختلف انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره شده است:

باولز و پیلائیز[2] در سال 1995 یک رویکرد مبتنی بر منطق فازی را برای اولویت بندی شکست ها در یک سیستم FMEA شرح دادند که متغیرهای کلامی فازی را برای شرح S, O, D و ریسک شکست‌ها به کار برد.گوییمارائیس و لاپا[3] (2004) از FMEA فازی در سیستم های شیمیایی و کنترل صدا در نیروگاه هسته ای استفاده کردند. شارما و همکارانش[4] (2005) رویکرد FMEA فازی را برای اولویت بندی حالت های شکست در سیستم های هیدرولیک به اجرا در آوردند. گوییمارائس و لاپادر سال (2007) از سیستم استنتاج فازی در تولید انرژی هسته‌ای به عنوان رویکرد تحلیلی برای ارزیابی ریسک استفاده نمودند. کزکین و اوزکان[5] (2009) یک رویکرد تشدید انطباقی فازی را برای ارزیابی RPN در FMEA و برطرف کرن اشکالات FMEA سنتی به کار گرفتند. ونچه و آقاجانی[6] (2013) یک مدل فازی جدید را بر اساس مجموعه سطح آلفا بررسی کردند. در این مطالعات از متغیرهای کلامی برای بررسی عوامل شکست استفاده می‌شود. کهرمان و همکاران[7] (2013) از متغیرهای زبانی فازی و قواعد اگر-آنگاه برای اولویت بندی مسائل ایمنی و بهداشت استفاده کردند. جمشیدی و همکارانش (2015) از رویکرد FMEA فازی برای تعیین استراتژی های نگهداری و تعمیرات مناسب تجهیزات حیاتی پزشکی بهره بردند.

در بسیاری از تحقیقات اخیر طراحی سیستم استنتاج فازی صرفاً براساس معیارهای اصلی FMEA صورت گرفته است این در حالی است که برای ارزیابی صحیح و دقیق‌تر این معیارها می بایست بعضی از زیر معیارها را نیز مورد بررسی قرار داد. در پژوهش حاضر سعی شده برای غلبه بر کاستی‌های رویکرد FMEA سنتی از متغیرهای کلامی برای بررسی زیر معیارهای D, S, O استفاده شود که هریک از زیر معیارهای مورد نظر با استفاده از سیستم استنتاج فازی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در ادامه این ارزیابی‌ها (معیارها) به عنوان ورودی سیستم استنتاج فازی کل به کار می‌رود.

---

[1] Zhang & chu
[2] Bowles & Pela'ez
[3] Guimaraes & Lpa
[4] Sharma et al
[5] Keskin & Ozkan
[6] Vencheh & Aghajani
[7] Kahraman et al

www.SID.ir

Archive of SID

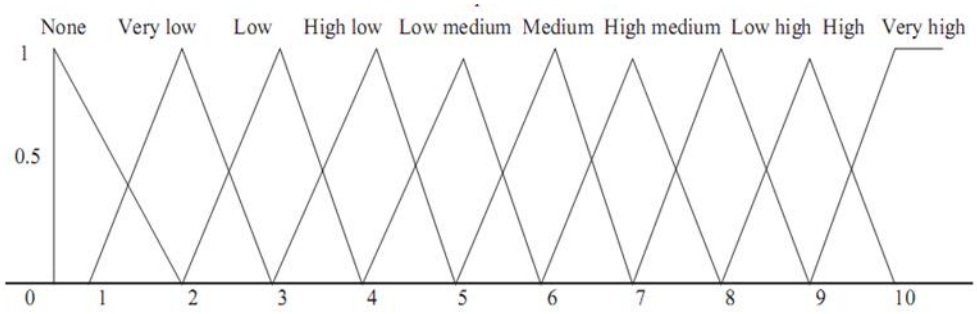
روش شناسی پژوهش:

پژوهش حاضر بر حسب هدف کاربردی است و داده های اصلی تحقیق با روش میدانی و از طریق توزیع پرسشنامه طی دو مرحله میان خبرگان تحقیق شامل مهندسان بخش نگهداری و تعمیرات (که تقریباً 20 سال سابقه فنی و تخصصی در این حوزه داشته اند) جمع آوری شده است. پرسشنامه اول به منظور شناسایی دستگاه‌های مهم و شکست‌های مهم با استفاده از روش دلفی میان خبرگان توزیع شد به این صورت که ابتدا دستگاه های مهم و سپس شکست‌های با اهمیت که امتیاز آن‌ها بالاتر از هفت بودند انتخاب شدند. در پرسشنامه‌ی دوم نیز خبرگان مذکور به بررسی این شکست‌ها پرداختند که در ادامه از این اطلاعات به منظور تشکیل FMEA فازی و مدل سیستم استنتاج فازی استفاده شد.

این پژوهش در دو مرحله اصلی به شرح زیر صورت می پذیرد:

مرحله اول: اجرای رویکرد FMEA فازی

این گام مبتنی بر FFMEA با ادغام سه معیار (D,S,O) و هفت زیر معیار است. در روش FMEA سنتی، عدد اولویت ریسک(RPN) شکست از حاصل ضرب سه معیار (RPN=D*S*O) بدست می آمد. در این پژوهش به منظور غلبه بر ضعف-های FMEA سنتی یک رویکرد فازی را برای محاسبه‌ی RPN به کار برده و با تعیین متغیرهای کلامی مختلف عدم قطعیت در نظرات خبرگان در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر آن هفت زیر معیار نیز برای معیارهای اصلی FMEA در نظر گرفته می‌شود تا شکست‌های دستگاه‌ها از جنبه‌های مختلف مد نظر قرار داده شود. جدول تابع عضویت متغیرهای کلامی مربوط به عدد اولویت ریسک در شکل (1) آمده است.



شکل (1) توابع عضویت مجموعه فازی مربوط به RPN

1. عدم تشخیص

معیار تشخیص، یعنی احتمال کشف شکست قبل از اینکه رخ دهد. تشخیص شامل دو زیر معیار است: احتمال کشف شکست و روش‌های مدون کشف شکست. در این مطالعه عدم تشخیص مد نظر قرار داده می‌شود بنابراین رابطه‌ی عکسی میان این دو زیر معیار و عدم تشخیص وجود دارد.

1-1 احتمال کشف شکست

احتمال کشف شکست با انواع مختلفی از فاکتورها شامل توانایی پرسنل نگهداری برای کشف شکست از طریق بازرسی‌های دوره‌ای و یا مشاهده بصری و یا با کمک هشدارها و حسگرها و کنترل‌های اتوماتیک مرتبط می باشد(شارما و همکاران، 2005). (جدول 1)

جدول (1) رتبه بندی فازی برای ارزیابی تشخیص خرابی

ارزیابی	توضیح	اعداد فازی
خیلی زیاد (VH)	شکست مشهود است.	(8.5 ،10 ،10)
زیاد(H)	شکست نامشهوداست و با دستگاه کمکی یا بازرسی دوره ای قابل شناسایی است.	(6 ،7.5 ،9)
متوسط(M)	شکست نامشهود است و فقط با دستگا ه های کمکی قابل شناسایی است.	(3.5 ،5 ،6.5)
کم (L)	شکست نامشهود است و فقط با بازرسی دوره‌ای قابل شناسایی است.	(1،2.5،4)

www.SID.ir

Archive of SID

ناچیز(R)	شکست نامشهود است و امکان تشخیص وجود ندارد.	(0،0،1.5)

2-1 روش های مدون کشف شکست

این زیر معیار وجود رویه مشخص را در فرآیند بازرسی اندازه می گیرد (جدول 2).

جدول(2) درجه بندی فازی برای روش‌های مدون کشف شکست

ارزیابی	توضیح	اعداد فازی
خیلی زیاد (VH)	دستگاه صد درصد بازرسی شده و فرایند بازرسی مشخص است.	(10، 10، 8.5)
زیاد(H)	بازرسی کامل وجود دارد اما رویه آن نامشخص است.	(9، 7.5، 6)
متوسط(M)	بازرسی دستی در برخی از اجزای دستگاه انجام می شود.	(6.5، 5، 3.5)
کم (L)	هیچ فرایند بازرسی وجود ندارد و امکان وقوع خرابی وجود دارد.	(4،2.5،1)
ناچیز(R)	هیچ روند بازرسی شناخته شده برای تشخیص شکست دستگاه وجود ندارد و شکست به سختی قابلت شخیص شود.	(1.5،0،0)

2. احتمال وقوع شکست

این معیار تکرار شکست‌ها و ریسک‌های بالقوه برای هر دستگاه را تخمین می زند. این معیار به منظور محاسبه‌ی دقیق احتمال وقوع به دو زیر معیار نیاز دارد که شامل: قابلیت تکرار و مشهود بودن می باشد.

2-1 قابلیت تکرار

تکرار پذیری یکی از عوامل مهم در معیار احتمال وقوع است که به عنوان وقوع خرابی مشابه در یک دوره زمانی برای یک دستگاه یا قسمتی از دستگاه تعریف می‌شود (جدول3). زمانی که یک شکست در یک دوره زمانی کوتاه رخ دهد(به طور مثال 3 ماه) درصد تکرارپذیری آن بسیار بالا است اما زمانی که در یک دوره زمانی بلندمدت رخ دهد(به طور مثال 10 سال) درصد قابلیت تکرار بسیار پایین است.

2-2 مشهود بودن

مشهود بودن شکست دومین عامل مهم در احتمال وقوع شکست است که نشان می‌دهد آیا یک شکست برای کارشناسان نگهداری قابل مشاهده است یا خیر(جدول 3).

جدول(3) عبارات کلامی و مقیاس فازی برای زیر معیارهای احتمال وقوع شکست

ارزیابی	O_1قابلیت تکرار		O_2مشهود بودن	اعداد فازی
	احتمال شکست	زمان	زمان تشخیص	
خیلی زیاد(VH)	تقریبا اجتناب ناپذیر	شکست‌های مشابه در بازه 3ماه	به هیچ وجه قابل رویت نیست	(10، 10، 8/5)
زیاد(H)	شکستهای مکرر	شکست‌های مشابه در بازه 3- 6ماه	قابل مشاهده با استفاده از [illegible]	(9، 7/5، 6)
متوسط(M)	شکست های گاه گاه	شکست‌های مشابه در بازه 6- 24ماه	قابل مشاهده بین فواصل دو [illegible]	(6/5، 5، 3/5)
کم(L)	شکست های نسبتا	شکست‌های مشابه در بازه2- 10	قابل مشاهده هنگام بازرسی	(4، 2/5، 1)
ناچیز(R)	عدم احتمال شکست	عدم وقوع بیش از 10 سال	قابل مشاهده قبل از بازرسی	(1/5، 0، 0)

www.SID.ir

Archive of SID

3. شدت خرابی

تأثیرات ناشی از شکست در دستگاه‌ها به سه دسته‌ی اصلی تقسیم می‌شود: اثر بر روی نیروی کار، میانگین زمان برای تعمیر(MTTR)، و ضرر اقتصادی.

3-1- اثر روی نیروی کار(S_1). یک شکست بالقوه یا نقص در دستگاه‌ها می‌تواند منجر به آسیب و خرابی دائمی شده و یا حتی مرگ را برای اپراتورهای دستگاه‌ها یا پرسنل بخش نگهداری و تعمیرات به دنبال داشته باشد(جدول 4).

3-2- میانگین زمان برای تعمیر(MTTR, S_2): میانگین زمان برای تعمیر یکی از عوامل متداول در تعمیر و نگهداری دستگاه‌ها است (وانگ، 2012) که بیانگر متوسط زمان مورد نیاز برای انجام نگهداری اصلاحی در دستگاه‌ها می‌باشد(جدول 4).

3-3- ضرر اقتصادی(S_3): وانگ و همکارانش(2012) ضرر اقتصادی را در کارخانجات صنعتی به عنوان ترکیبی از هزینه نگهداری و تولید از دست رفته در نظر می‌گیرند. بر طبق این تعریف ضرر اقتصادی در سازمان ها را نیز می توان به عنوان ترکیبی از هزینه‌های نگهداری[1] ، و زمان از دست رفته ی مرتبط با تأخیر[2] در نظر گرفت. هزینه های نگهداری(عوارض ناشی از نقص یا شکست در دستگاه‌ها) شامل هزینه‌های ثابت (مانند هزینه قطعات یدکی) و هزینه‌های متغیر(مانند هزینه کارشناسان نگهداری) است(جدول 4).

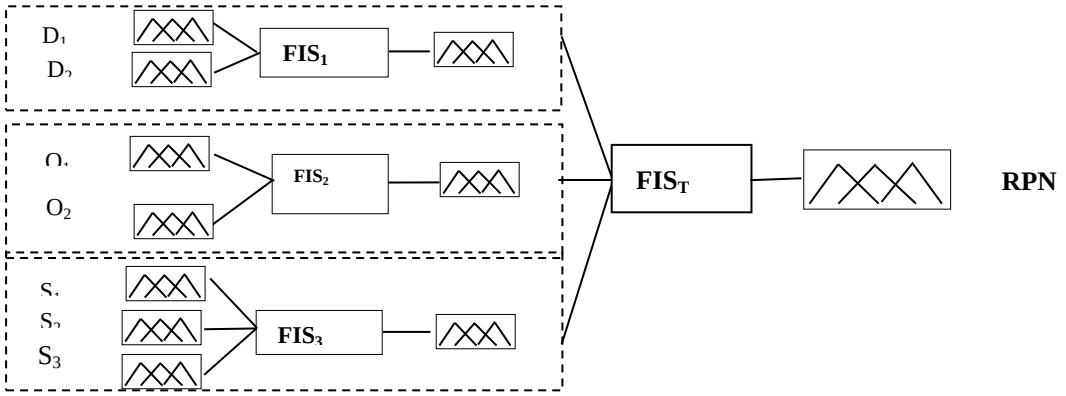
سطوح مختلف ضررهای اقتصادی و متغیرهای کلامی و اعداد فازی مرتبط با آن در جدول (4) شرح داده شده است.

جدول(4) سطوح مختلف نتایج حاصل از خرابی و اعداد فازی متناظر با آن ها

سطح	S1 (اثر روی نیروی کار)	S2 (میانگین زمان برای تعمیر)	S_3 (ضرر اقتصادی، میلیون ریال)	اعداد فازی
خیلی زیاد(VH)	مرگ	عدم امکان تعمیر	زیان > 100	(8/5 ،10 ،10)
زیاد(H)	آسیب عمیق طولانی مدت	تعمیر بیش از چهار روز	50 < زیان < 100	(6 ،7/5 ،9)
متوسط(M)	آسیب متوسط	تعمیر بین یک تا چهار روز	20 < زیان < 50	(3/5 ،5 ،6/5)
کم(L)	آسیب یا بیماری جزئی	تعمیر یک ساعت تا یک روز	5 < زیان < 20	(1 ،2/5 ،4)
ناچیز (R)	بدون تاثیر	تعمیر کمتر از یک ساعت	0 < زیان < 5	(0 ،0 ،1/5)

مرحله دوم: طراحی سیستم استنتاج فازی

در این پژوهش طراحی سیستم استنتاج فازی به صورت چند مرحله‌ای صورت می گیرد. برای طراحی این سیستم، سه زیر سیتم استنتاج طراحی شده که از متغیرهای خروجی آن به عنوان ورودی سیستم استنتاج نهایی استفاده می‌شود و در نهایت از اطلاعات حاصل از آن برای ارزیابی اولویت ریسک شکست به کار برده می‌شود.



[1] Maintenance Cost
[2] Delaying Treatment

www.SID.ir

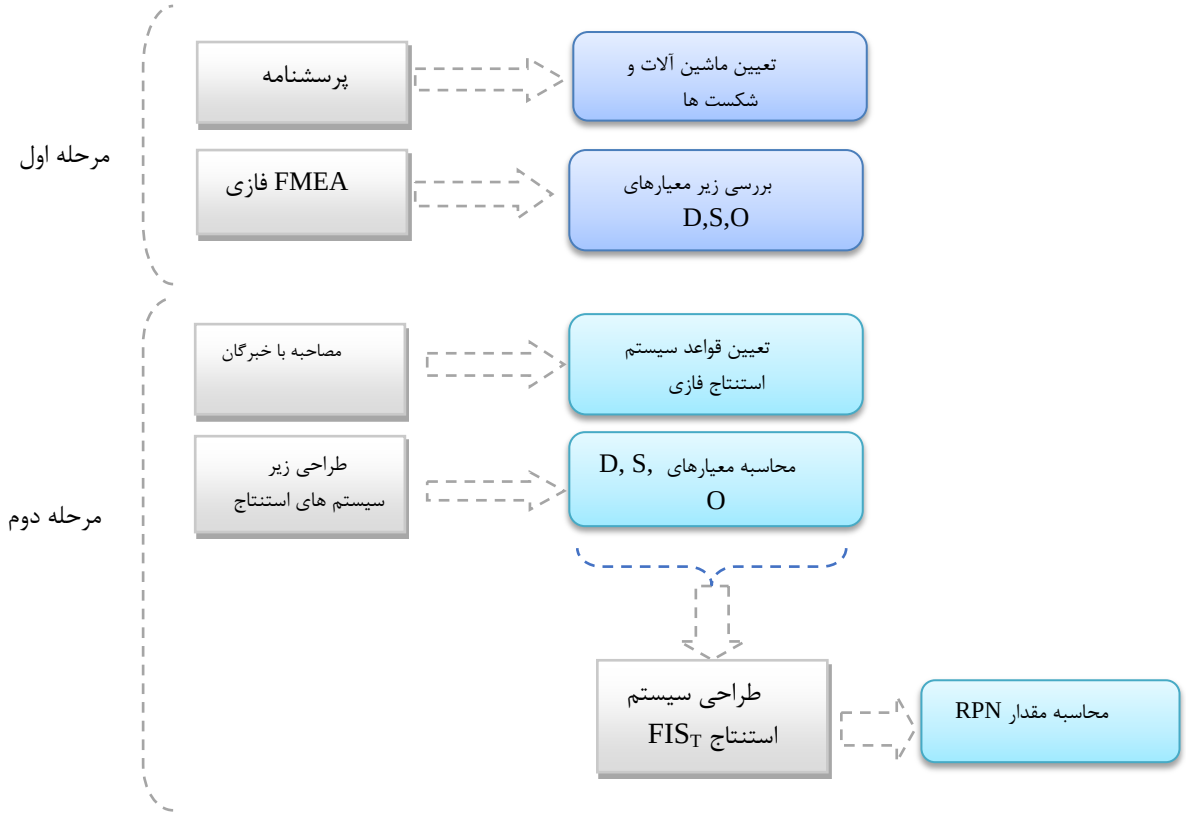
Archive of SID

شکل (2) نمای کلی سیستم استنتاج فازی چند مرحله ای

مراحل پیاده سازی استنتاج فازی به شرح زیر می باشد:

1. تعریف متغیرهای زبانی
2. ساخت توابع عضویت فازی
3. ساخت پایگاه قواعد اگر-آن گاه فازی
4. تبدیل داده های ورودی به مقادیر فازی با استفاده از توابع عضویت فازی(فازی سازی)
5. ارزیابی قوانین در پایگاه قواعد فازی(موتور استنتاج فازی)
6. ترکیب نتایج حاصل از هر قاعده
7. تبدیل داده های خروجی به مقادیر غیر فازی(نافازی سازی)

با توجه به مراحلی که در بالا بیان شده فرآیند تحقیق حاضر در شکل (3) نشان داده شده است.



شکل (3) فرآیند کلی تحقیق حاضر

www.SID.ir

Archive of SID

بحث و یافته های پژوهش:

در ابتدا با استفاده از نظر خبرگان 5 مورد از دستگاه‌های با اهمیت نیروگاه تعیین و شکست‌های مربوط به هر یک از آن‌ها شناسایی شدند که در جدول (5) آمده است.

جدول (5) دستگاه‌ها و شکست‌های مربوط به هر یک از آن‌ها

ردیف	نام تجهیزات	نوع شکست
1	ژنراتور	1) ترک خوردگی و نشتی آب از لوله های استاتور 2) بالا رفتن دمای بابیت یاتاقان 3) کم شدن فشار هیدروژن 4) نشتی روغن از یاتاقان ها 5) ارتعاش در یاتاقان ها
2	کندانسور توربین	1) اشکال در نازل های خلاگیری 2) زیاد شدن آمار لوله های بلاک شده 3) افت سطح آب دریا در واتر باکس 4) نشتی لوله های کندانسور 5) افت خلا کندانسور
3	اف دی فن	1) تغییر بالانس پر ها 2) خوردگی اسلایدینگ بلوک 3) خرابی هیدرولیک 4) نشت روغن ها 5) شکستن پره ها
4	الکتروموتور آب سرویس اصلی	1) خرابی ترمینال الکتروموتور 2) از بین رفتن لاستیک کوپلینگ 3) خرابی بوش نگهدارنده بلبرینگ 4) خرابی رول برینگ 5) خرابی بلبرینگ
5	ایر پری هیتر	1) خرابی گیربکس نازل های بسکت 2) خرابی نازل های شست و شوی بسکت 3) خرابی گیربکس 4) خرابی لوله استیل 5) خرابی لوله لنت تیوپ

در مرحله طراحی به کمک خبرگان پژوهش برای هر یک از زیر سیستم‌ها و سیستم کلی قواعد فازی تعریف شد؛ برای ساخت سیستم استنتاج در هر مرحله تعداد قواعد بر اساس تعداد توابع عضویت و تعداد ورودی‌های هر سیستم تعیین می‌گردد که در جدول (6) تعداد قواعد تعریف شده در سیستم های استنتاج فازی آمده است.

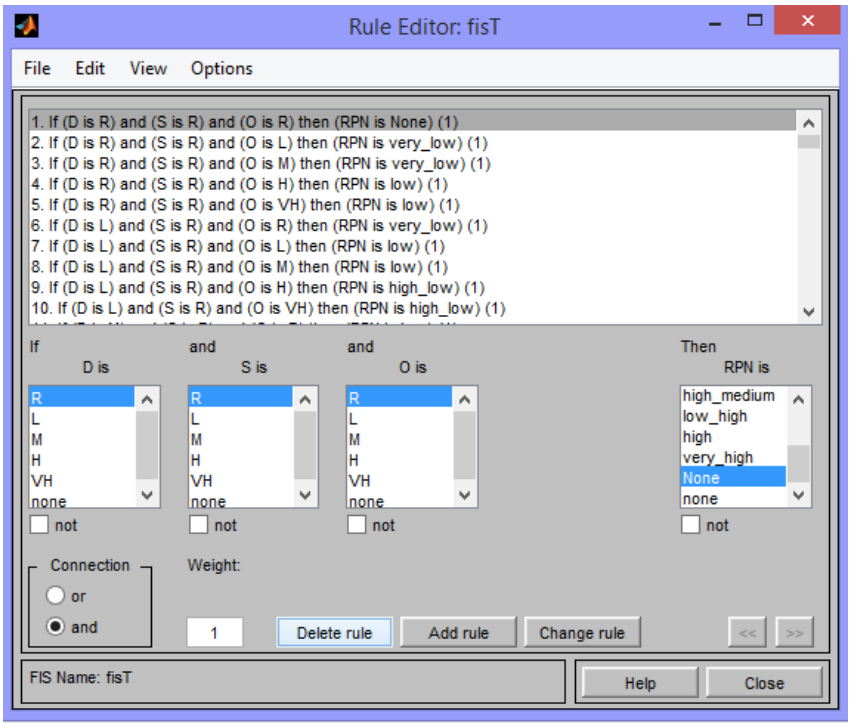
www.SID.ir

Archive of SID

جدول (6) تعداد قواعد فازی در سیستم‌های استنتاج فازی

معیارهای اصلی	زیرمعیار	تعدادقواعد در مدل استنتاج فازی	
		زیرسیستم ها	سیستم کلی
تشخیص (D)	احتمال عدم تشخیص(D_1) روش تشخیص شکست(D_1)	FIS_1(5*5=25)	FIS (5*5*5=125)
احتمال وقوع (O)	تکرار پذیری(O_1) مشهود بودن (O_2)	FIS_2(5*5=25)	
شدت[1] شکست (S)	اثر روی نیروی کار (S_1) میانگین زمان برای تعمیر (S_2) ضرر اقتصادی (S_3)	FIS_2(5*5*5=125)	

در شکل (4) تعدادی از قواعد تعریف شده در سیستم استنتاج فازی نهایی (ارزیابی RPN) در نرم افزار متلب نشان داده شده است.



شکل (4) قواعد مربوط به سیستم استنتاج کل

پس از طراحی مدل سیستم استنتاج فازی چند مرحله ای، مدل مذکور برای ارزیابی ریسک شکست‌های ماشین آلات در نیروگاه به کار گرفته شد. بدین منظور ابتدا وضعیت هریک از شکست‌ها با توجه به طیف‌های مندرج در جداول 1 تا 4 توسط خبرگان ارزیابی شدند (جدول 7) که تلفیق این نظرات با استفاده از میانگین حسابی در جدول (8) آمده است.

جدول (7) اعداد فازی شکست‌های هریک از دستگاه‌ها بر اساس نظر خبرگان

دستگاه	شکست	خبره	تشخیص		وقوع خطا		شدت خطا		
			D_1	D_2	O_1	O_2	S_1	S_2	S_3

[1]Severity

www.SID.ir

Archive of SID

ژنراتور	کم شدن فشار هیدروژن	1	M	VH	M	H	R	M	L
		2	M	VH	M	H	L	M	R
		3	H	H	M	L	R	L	L
	ترک خوردگی و نشتی آب از لوله های استاتور	1	M	R	H	L	M	H	VH
		2	M	L	VH	VH	L	H	VH
		3	L	L	H	VH	R	H	VH
	بالا رفتن دمای بابیت یاتاقان	1	H	H	H	VH	M	L	R
		2	L	H	M	VH	VH	L	L
		3	L	R	H	L	M	M	L
	نشتی روغن از یاتاقان ها	1	L	L	L	M	L	H	M
		2	R	L	M	VH	M	M	L
		3	M	M	M	M	VH	H	M
	ارتعاش در یاتاقان ها	1	R	H	L	L	L	M	H
		2	R	H	L	VH	M	M	M
		3	L	R	L	VH	R	H	H
کندانسور توربین	اشکال در نازل های خلاگیری	1	R	M	M	VH	H	M	M
		2	L	H	M	H	M	M	L
		3	R	M	M	H	M	M	M
	زیاد شدن آمار لوله های بلاک شده	1	L	L	L	L	VH	H	VH
		2	R	M	L	M	VH	H	VH
		3	M	L	M	M	VH	H	H
	افت سطح آب دریا در واتر باکس	1	R	H	VH	L	VH	L	L
		2	R	H	H	L	M	VH	L
		3	R	L	VH	L	VH	VH	L
	نشتی لوله های کندانسور	1	R	H	H	H	L	H	H
		2	M	H	L	H	M	H	H
		3	L	L	M	M	L	M	M
	افت خلا کندانسور	1	R	H	H	H	L	L	L
		2	M	H	M	H	H	M	M
		3	R	H	H	VH	M	M	M
اف دی فن	خوردگی اسلایدینگ بلوک	1	R	L	M	L	L	VH	VH
		2	L	L	R	L	H	H	H
		3	R	L	L	H	L	M	VH
	نشت روغن ها	1	L	L	M	H	L	H	H
		2	R	L	L	VH	VH	H	M
		3	M	R	L	M	VH	H	H
	تغییر بالانس پره ها	1	R	R	M	VH	M	H	L
		2	L	H	M	VH	M	M	M
		3	L	M	H	L	M	L	H
	خرابی هیدرولیک	1	R	L	L	VH	M	M	M
		2	M	H	L	L	L	M	VH
		3	R	M	M	VH	L	L	H
	شکستن پره ها	1	R	R	L	L	H	VH	H
		2	L	R	L	VH	VH	L	VH
		3	M	R	L	VH	H	M	VH
الکتروموتور آب سرویس	خرابی ترمینال الکتروموتور	1	H	R	R	L	VH	H	VH
		2	H	R	R	L	H	H	H
		3	H	R	H	L	H	H	VH
	خرابی رول برینگ	1	L	M	H	M	L	M	M

www.SID.ir

Archive of SID

اصلی		2	H	R	H	R	H	M	M
		3	H	VH	M	L	R	M	M
	خرابی بلبرینگ	1	M	L	M	VH	R	M	M
		2	M	M	M	H	R	M	M
		3	H	M	M	L	R	M	M
	خرابی بوش نگهدارنده بلبرینگ	1	VH	L	H	L	R	M	H
		2	R	M	L	L	R	H	H
		3	M	M	L	L	R	H	H
	از بین رفتن لاستیک کوپلینگ	1	H	R	L	H	R	H	H
		2	M	M	H	R	R	H	VH
		3	L	M	H	R	L	H	H
ایر پری هیتر	خرابی گیربکس	1	M	M	L	L	R	H	VH
		2	R	M	M	R	L	M	VH
		3	H	L	M	L	L	M	L
	خرابی گیربکس نازل های بسکت	1	L	L	M	VH	R	H	VH
		2	L	L	H	M	L	M	H
		3	H	L	VH	M	L	M	M
	خرابی لوله استیل	1	M	L	L	L	L	M	H
		2	L	L	M	L	R	H	VH
		3	L	L	M	M	M	M	M
	خرابی نازل های شست و شوی بسکت	1	M	H	L	H	M	M	H
		2	M	M	M	L	M	L	H
		3	M	M	H	H	M	M	L
	خرابی لوله لنت تیوپ	1	M	M	VH	L	L	H	VH
		2	R	H	H	M	M	H	VH
		3	L	H	H	L	L	H	H

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (8) تجمیع اعداد فازی مربوط به نظرات خبرگان

تجهیزات	شکست	تشخیص(D)			وقوع(O)		شدت(S)		
		D1	D2	O1	O2	S1	S2	S3
ژنراتور	کم شدن فشار هیدروژن	(6.5،5.3،5)	(9.67،9.16،7.6)	(5.83،4.33، 7.33)	(9،7.5،6)	(2.33،0.83،0.33)	(5.66،4.16،2.66)	(1.66،0.66، 3.16)
	ترک خوردگی و نشتی آب از لوله های استاتور	(7.67،6.66،5.16)	(8.5،7.5،6)	(0.83،0.33، 2.33)	(4.2،5.1)	(5.66،4.16،2.66)	(9،7.5،6)	(10،10،8.5)
	بالا رفتن دمای بابیت یاتاقان	(7.66،6.66،5.16)	(8،7.5،6)	(6.66،5.16، 8.16)	(6.5،5.4)	(5.66،4.16،2.66)	(4.83،3.33،1.83)	(1.66،0.66، 3.16)
	نشتی روغن از یاتاقان	(6.83،5.83،4.33)	(7.66،6.66،5.16)	(4.16،2.66، 5.66)	(4.83،3.33،1.83)	(4،2.5،1.5)	(8.16،6.66،5.16)	(4.16،2.66، 5.66)
	ارتعاش در یاتاقان	(4،2.5،1.5)	(8،7.5،6)	(4،2.5،1)	(6.5،5.4)	(2.33،0.83،0.33)	(7.33،5.83،4.33)	(6.66،5.16، 8.16)
کندانسور توربین	اشکال در نازل های خلأگیری	(7.33،5.83،4.33)	(9.33،8.33،6.83)	(6.5،5.3،5)	(7.33،5.83،4.33)	(2.33،0.83،0.33)	(6.5،5.3،5)	(4.16،2.66، 5.66)
	زیاد شدن آمار لوله های بلاک شده	(10،10،8.5)	(5.66،4.16،2.66)	(3.33،1.83، 4.83)	(4.83،3.33،1.83)	(4،2.5،1.5)	(9،7.5،6)	(9.16،7.66، 9.66)
	افت سطح آب دریا	(8.83،8.33،6.83)	(4،2.5،1)	(9.16،7.66، 9.66)	(7.33،5.83،4.33)	(1.5،0،0)	(8،7.5،6)	(4،2.5،1)
	نشتی لوله کندانسور	(4.83،3.33،1.83)	(8.16،6.66،5.16)	(6.5،5.3،5)	(7.33،5.83،4.33)	(4،2.5،1.5)	(8.16،6.66،5.16)	(6.66،5.16، 8.16)
	افت خلأ کندانسور	(6.5،5.3،5)	(9.33،8.33،6.83)	(6.66،5.16، 8.16)	(9،7.5،6)	(3.16،1.66،1.16)	(5.66،4.16،2.66)	(4.16،2.66، 5.66)
اف دی فن	خوردگی اسلایدینگ بلوک	(5.66،4.16،2.66)	(5.66،4.16،2.66)	(4،2.5،1.5)	(4،2.5،1)	(2.33،0.83،0.33)	(8.5،7.5،6)	(9.16،7.66، 9.66)
	نشت روغن ها	(8،7.5،6)	(8.5،7.5،6)	(3.33،1.83، 4.83)	(3.16،1.66،0.66)	(4،2.5،1.5)	(9،7.5،6)	(6.66،5.16، 8.16)
	تغییر بالانس پره ها	(6.5،5.3،5)	(8،7.5،6)	(5.83،4.33، 7.33)	(5.66،4.16،3.16)	(3.16،1.66،0.66)	(6.5،5.3،5)	(6.5،5.3،5)
	خرابی هیدرولیک	(4.83،3.33،1.83)	(8،7.5،6)	(3.33،1.83، 4.83)	(6.5،5.3،5)	(3.16،1.66،1.16)	(5.66،4.16،2.66)	(8.5،7.5،6)
	شکست پره ها	(9.33،8.33،6.83)	(8،7.5،6)	(4،2.5،1)	(1.5،0،0)	(4،2.5،1.5)	(6.83،5.83،4.33)	(9.16،7.66، 9.66)
الکتروموتور آب سرویس اصلی	خرابی ترمینال الکتروموتور	(9،7.5،6)	(9.33،8.33،6.83)	(4،2.5،1)	(4،2.5،2)	(1.5،0،0)	(7.33،5.83،4.33)	(9.16،7.66، 9.66)

www.SID.ir

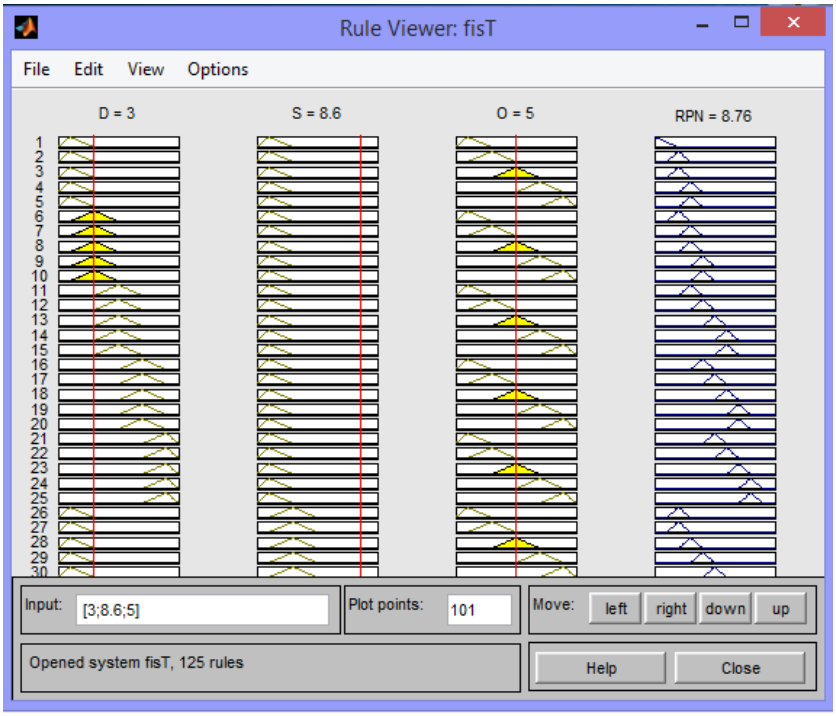
Archive of SID

	خرابی رول برینگ	(7.33،5.83،4.33)	(7.66،6.66،5.16)	(4.16،3.16، 5.66)	(7.33،5.83،4.33)	(1،5،0،0)	(6.5،5،3.5)	(6.5،5،3.5)
	خرابی بلبرینگ	(6.5،5،3.5)	(6.83،5.83،4.33)	(5.83،4.33، 7.33)	(7.66،6.66،5.16)	(1،5،0،0)	(6.5،5،3.5)	(6.5،5،3.5)
	خرابی بوش نگهدارنده بلبرینگ	(5.66،4.16،2.66)	(5.66،4.16،2.66)	(6،5،4)	(4،2،5،1)	(1،5،0،0)	(8.16،6.66،5.16)	(9،7،5،6)
	از بین رفتن لاستیک کوپلینگ	(7.33،5.83،4.33)	(4،2،5،1،5)	(5.83،4.33، 7.33)	(2.33،0.83،0.33)	(2.33،0.83،0.33)	(9،7،5،6)	(8.33،6.83، 9.33)
ایر پری هیتر	خرابی گیربکس	(6.83،5.83،4.33)	(6،5،5،3.5)	(3.33،1.83، 4.83)	(4.83،3.33،2.33)	(3.16،1.66،0.66)	(7.33،5.83،4.33)	(8،7،5،6)
	خرابی گیربکس نازل های بسکت	(7.66،6.66،5.16)	(8.5،7.5،6)	(4،2،5،1)	(5.66،4.16،2.66)	(3.16،1.66،0.66)	(7.33،5.83،4.33)	(8.5،7.5،6)
	خرابی لوله استیل	(4.83،3.33،1.83)	(5.66،4.16،2.66)	(4،2،5،1)	(4.83،3.33،1.83)	(4،2،5،1،5)	(7.33،5.83،4.33)	(8.5،7.5،6)
	خرابی نازل های شست و شوی	(7.33،5.83،4.33)	(6.5،5،3.5)	(6.5،5،3.5)	(6.5،5،3.5)	(6.5،5،3.5)	(6.5،5،3.5)	(5.83،4.33، 7.33)
	خرابی لوله لنت تیوپ	(5.66،4.16،2.66)	(9.33،8.33،6.83)	(3.33،2.33، 4.83)	(7.33،5.83،4.33)	(4.83،3.33،1.83)	(9،7،5،6)	(9.16،7.66، 9.66)

www.SID.ir

Archive of SID

نظرات خبرگان پس از تلفیق و قطعی سازی، به عنوان مقادیر اصلی زیر سیستم ها وارد مدل‌های استنتاج مربوط به معیارهای سه گانه شدت، وقوع و عدم تشخیص شدند، سپس خروجی این مدل‌ها به عنوان ورودی در سیستم استنتاج کلی(RPN) به کار گرفته شد. در شکل (5) نمای مربوطه به ارزیابی قواعد(استلزام) و همچنین ترکیب نتایج حاصل از بررسی تمام قواعد (استنتاج) مربوط به سیستم استنتاج کلی، در مورد شکست چهارم دستگاه کندانسور توربین نشان داده شد.



شکل (5) نمای مربوط به قواعد تعریف شده در سیستم استنتاج کل

مقادیر خروجی مدل استنتاج کلی (مقدار RPN) مربوط به هر شکست در جدول (9) نشان داده شده است.

جدول (9) مقدار RPN مربوط به هریک از شکست‌ها

ردیف	نام تجهیزات	نوع شکست	RPN	اولویت
1	ژنراتور	کم شدن فشار هیدروژن	4.89	15
		ترک خوردگی و نشتی آب از لوله های استاتور	7.39	9
		بالا رفتن دمای بابیت یاتاقان	4.56	16
		نشتی روغن از یاتاقان ها	8	6
		ارتعاش در یاتاقان ها	8	6
2	کندانسور توربین	اشکال در نازل های خلأگیری	6	14
		زیاد شدن آمار لوله های بلاک شده	7.41	8
		افت سطح آب دریا در واتر باکس	8.36	5
		نشتی لوله کندانسور	8.76	1
		افت خلأ کندانسور	7	11
3	اف دی فن	خوردگی اسلایدینگ بلوک	8.43	3
		نشت روغن	7.44	7
		تغییر بالانس پره ها	6	14
		خرابی هیدرولیک	8	6
		شکست پره ها	6.22	13

www.SID.ir

Archive of SID

4	الکتروموتور آب سرویس اصلی	خرابی ترمینال الکتروموتور	6.23	12
		خرابی رول برینگ	6	14
		خرابی بلبرینگ	7	11
		خرابی بوش نگهدارنده بلبرینگ	8.76	1
		از بین رفتن لاستیک کوپلینگ	8.42	4
5	ایر پری هیتر	خرابی گیربکس	7	11
		خرابی گیر بکس نازل های بسکت	7.25	10
		خرابی لوله استیل	7	11
		خرابی نازل های شست و شوی بسکت	6	14
		خرابی لوله لنت تیوپ	8.74	2

بحث و نتیجه گیری:

افزایش روزافزون هزینه دستگاه‌ها و ماشین‌آلات و لزوم دستیابی به سطح بالایی از قابلیت اطمینان در آن‌ها به‌منظور جلوگیری از حوادث و رخدادهای ناشی از شکست، اهمیت مدیریت نگهداشت را روز به روز بیشتر می‌کند. مطالعه حاضر نیز با هدف شناسایی و اولویت‌بندی شکست‌های دستگاه‌ها و ماشین آلات در نیروگاه برق صورت گرفته است که از یک رویکرد مبتنی بر FMEA فازی استفاده کرده و با بهره‌گیری از سیستم استنتاج فازی چند مرحله‌ای اقدام به ارزیابی شکست‌ها می‌کند.

استفاده از روش FMEA فازی می تواند مشکلات و محدودیت های FMEA سنتی را کاهش دهد و به طور مؤثرتر و کارآمدتر، حالات شکست در یک سیستم را اولویت بندی کند. این روش همچنین می‌تواند با ابهامات موجود در قضاوت‌های ذهنی خبرگان و عدم قطعیت موجود در سیستم مقابله کند و در نتیجه دقت و درستی نتایج ارزیابی ریسک را افزایش دهد. در واقع با استفاده از متغیرهای زبانی، خبرگان قادر خواهند بود تا قضاوت‌های واقعی‌تری را از سیستم تحت مطالعه خود داشته باشند در نتیجه نتایج ارزیابی و اولویت‌بندی نسبت به روش سنتی بهبود می‌یابد. همچنین استفاده از یک رویکرد فازی و تلفیق آن با سیستم استنتاج فازی این امکان را فراهم کرد که ارزش‌های معناداری برای هریک از معیارهای شکست در نظر گرفته شود و در نتیجه این امر به بهبود کارآیی رویکرد FMEA کمک خواهد کرد.

در تحقیق حاضر نتایج حاصل از سیستم استنتاج فازی حاکی از آن است که شکست "نشتی لوله کندانسور" در دستگاه کندانسور توربین و شکست "خرابی بوش نگهدارنده بلبرینگ" در دستگاه الکتروموتور با میزان درجه ریسک 8.76 بیشترین ریسک را داشته و و نسبت به سایر شکست ها در دستگاه‌های دیگر در بالاترین اولویت قرار دارند. با توجه به ریسک بالای شکست‌های مزبور در این دستگاه‌ها، نیروگاه بایستی توجه ویژه ای در نگهداشت و ارزیابی عملکرد درست این دستگاه‌ها داشته باشد. همچنین نتایج مدل استنتاج کلی نشان می دهد در دستگاه ژنراتور شکست های "نشتی روغن از یاتاقان" و "ارتعاش در یاتاقان"، در دستگاه اف دی فن شکست "خوردگی اسلایدینگ بلوک"، در دستگاه ایر پری هیتر شکست "خرابی لوله لنت تیوپ" در اولویت های اول خرابی قرار داشته اند.

شایان ذکر است که با توجه به قابلیت اطمینان مطلوب نتایج مطالعات مذکور که بر مبنای نظر متخصصین حوزه نگهداری و تعمیرات نیروگاه برق شهیدسلیمی نکا بوده است پیشنهاد می‌شود تا برنامه جامعی جهت بازرسی دستگاه‌ها بر اساس اولویت ریسک آن ها انجام شود تا بدون نیاز به بازرسی‌های حضوری کارشناسان خبره، ریسک خرابی تجهیزات در دوره‌های معین ارزیابی شود.

www.SID.ir

Archive of SID

از جمله محدودیت‌های این مطالعه نیز می‌توان به تعداد معدود خبرگان پژوهش و همچنین طولانی شدن زمان فرآیند جمع-آوری اطلاعات اشاره کرد که در نتیجه در دسترس نبودن متخصصین به سبب بازنشستگی و استخدام افراد تازه‌کار و همچنین عدم مستندسازی حوادث و شکست‌ها و فقدان مرجعی معتبر جهت مراجعه به آن‌ها می‌باشد.

پیشنهادات برای تحقیقات آتی:

با توجه به اهمیت موضوع پژوهش حاضر و گستردگی مباحث در این زمینه پیشنهاد می شود این مطالعات را در زمینه‌هایی مانند تعیین استراتژی نگهداری و تعمیرات با توجه به ارزیابی ریسک شکست و بررسی سایر پارامترهای مؤثر در آن توسعه داد.

منابع و مآخذ:

*کلاهان, ف., رضایی نیک, ا., حسنی دوغ آبادی, م., رمضان پور, ح & ., تجدد, ا. (2015). شناسایی و اولویت بندی ریسک های پروژه های توسعه صنعت برق کشور (مطالعه موردی: حوزه انتقال و فوق توزیع شرکت برق منطقه ای خراسان) .*نشریه مهندسی صنایع*.116-107 ,(1)*49* ,

*Aaserud, M., Trommald, M., & Boynton, J. (2001). Elective surgery--cancellations, ring fencing and efficiency. *Tidsskrift for den Norske laegeforening: tidsskrift for praktisk medicin, ny raekke*, *121*(21), 2516-2519.

*Bowles, J. B., & Peláez, C. E. (1995). Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. *Reliability Engineering & System Safety*, *50*(2), 203-213.

*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.

*Guimarães, A. C. F., & Lapa, C. M. F. (2007). Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. *Applied Soft Computing*, *7*(1), 17-28.

*Hadi-Vencheh, A., & Aghajani, M. (2013). Failure mode and effects analysis: A fuzzy group MCDM approach. *Journal of Soft Computing and Applications*, *2013*, 1-14.

*Jamshidi, A., Rahimi, S. A., Ait-Kadi, D., & Ruiz, A. (2015). A comprehensive fuzzy risk-based maintenance framework for prioritization of medical devices. *Applied Soft Computing*, *32*, 322-334.

*Kumru, M., & Kumru, P. Y. (2013). Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. *Applied Soft Computing*, *13*(1), 721-733.

*Kahraman, C., Kaya, İ., & Şenvar, Ö. (2013). Healthcare failure mode and effects analysis under fuzziness. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *19*(2), 538-552.

*Keskin, G. A., & Özkan, C. (2009). An alternative evaluation of FMEA: fuzzy ART algorithm. *Quality and Reliability Engineering International*, *25*(6), 647-661.

*Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International journal of man-machine studies*, *7*(1), 1-13.

*Rivera, S. S., & Mc Leod, J. E. N. (2009, July). Recommendations generated about a discontinuous distillation plant of biofuel. In *Proceedings of the World Congress on Engineering* (Vol. 1, pp. 651-56).

*Rafie, M., & Namin, F. S. (2015). Prediction of subsidence risk by FMEA using artificial neural network and fuzzy inference system. *International Journal of Mining Science and Technology*, *25*(4), 655-663.

*Ross, T. J. (2009). *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley & Sons.

*Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *22*(9), 986-1004.

www.SID.ir

Archive of SID

Spath, P. L. (2003). Using failure mode and effects analysis to improve patient safety. *AORN journal*, *78*(1), 15-37.

*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.

*Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert systems with applications*, *36*(2), 1195-1207..

⁎ Zhang, Z., & Chu, X. (2011). Risk prioritization in failure mode and effects analysis under uncertainty. *Expert Systems with Applications*, *38*(1), 206-214.

www.SID.ir