

ارزیابی ایمنی سازمانی با استفاده از روش ترکیبی FMEA و سیستم استنتاج فازی
مطالعه موردی در شرکت ماشین سازی اراک

**Organizational Safety Assessment Using Combined Method of FMEA and Fuzzy Inference
System: A Case Study**

Hamideh Kamyab^{1*}

Department of Industrial Engineering, Islamic Azad University, Tehran, Iran,
h.Kamyab@msa.ir

Mohammad Javad Ershadi²

Iranian Research Institute for Information Science and Technology (IranDoc),
Tehran, Iran, mjershadi@gmail.com

Mehdi Mohammadi³

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Arak, Iran,
m.mohammadi1886@gmail.com

^{1*} (Corresponding Author): Hamideh Kamyab has a MSc degree in Industrial Engineering, graduated in 2018 from Tehran University of Islamic Azad. She received his BSc degree in Industrial Management from Arak Payame noor University in 2014. she has been working for Arak Machine-Building Company since 2008 as a Supervisor of Human Resources training.

² Mohammad Javad Ershadi has a PhD in Industrial Engineering, graduated in 2015 from Iran University of Science and Technology. He received his MSc degree in Industrial Engineering from Sharif University of Technology in 2009. He got his BSc degree in Industrial Engineering from Isfahan University of Technology in 2005. He began his scientific experience in 2015 as a faculty member in IranDoc. Now he is an assistant professor of IT Management Research Group. His efforts at IranDoc has mainly devoted to application of quality engineering and management into information science and services.

³ Mehdi Mohammadi has a MSc degree in geotechnics and graduated from the Islamic Azad University of Arak in 2013. He received his BSc degree in civil engineering from the Islamic Azad University in 2010. He has been working for Iran Housing Investment Company since 2012. He is a member of the Arak Engineering System Organization since 2015 and supervising engineer of the building as a structural supervising.

چکیده

تاثیر عوامل سازمانی در ایمنی محیط کار، در سال های اخیر تحقیقات بسیاری در رابطه با بررسی رابطه بین عوامل سازمانی و عملکرد ایمنی در صنایع مختلف را داشته است ولی تا به حال مدلی که بتواند ریسک های عوامل سازمانی تاثیر گذار بر عملکرد ایمنی را ارزیابی و نمره ایمنی را تخمین نماید، وجود نداشته است. بر همین اساس هدف این تحقیق ارائه مدلی به منظور ارزیابی عملکرد ایمنی به روش ترکیبی FMEA و روش سیستم استنتاج فازی می باشد. عوامل سازمانی مؤثر بر عملکرد ایمنی صنایع استفاده شده در این تحقیق عبارتند از سطح مدیریت ایمنی، سطح مدیریت ارشد، سطح کار گروهی، سطح فردی و سطح فرهنگی به عنوان متغیر های ورودی و خروجی نمره ایمنی می باشد که به منظور ارزیابی عملکرد ایمنی بر اساس عوامل سازمانی، ابتدا فرم FMEA جهت شناسایی ریسک ها طراحی و با استفاده از سیستم استنتاج فازی در نرم افزار متلب مدل سازی انجام که پس از تدوین مدل در کارخانه ماشین سازی اراک پیاده سازی و یافته های تحقیق نشان داد که مدل تدوین شده قابلیت ارزیابی عملکرد ایمنی در صنایع را داشته و بر اساس آن می توان نمره ای که نشان دهنده عملکرد ایمنی صنایع باشد را محاسبه نمود. کاربرد مدل در این کارخانه به عنوان مطالعه موردی نشان می دهد که نمره عملکرد ایمنی برابر 75.3 محاسبه شد که این مقدار در حد مطلوب می باشد. مدل ارائه شده در این مقاله، ابزاری جهت نمره دهی به شمار می رود و هنگامی مورد استفاده قرار می گیرد که بخواهیم از میزان توجه شرکت ها و سازمان های مختلف به عملکرد ایمنی آگاه شویم. با توجه به این که اندازه متغیرهای تعیین کننده نمره عملکرد ایمنی با متغیرهای کلامی بیان می گردند و از طرف دیگر این متغیرها تعاملات درونی باهم دارند به طوریکه گاهی اوقات در کنار همدیگر اثر متفاوتی بر نمره عملکرد ایمنی صنایع دارند، بنابراین سیستم استنتاج فازی ابزار قدرتمند جهت تخمین نمره ایمنی خواهد بود.

واژه های کلیدی: عملکرد ایمنی صنایع، عوامل سازمانی، FMEA، سیستم استنتاج فازی.

مقدمه

از شروع مرحله سازمانی که آغاز آن به حادثه چرنوبیل بر می گردد، عوامل سازمانی به عنوان علل مؤثر بر وقوع حوادث صنعتی مطرح گردیده است. برخی از بررسی های انجام گرفته نشان می دهد که 30 تا 40 درصد حوادث کار، ناشی از عوامل سازمانی است [1]. مطالعات مختلفی نیز که در چند دهه گذشته در رابطه با جو ایمنی را مشخص

نموده اند [2 و 3]. جو ایمنی فرم خاصی از جو سازمانی است که رفتار ایمنی کارکنان را در سطوح مختلف سازمانی تحت تاثیر قرار می دهد [4 و 5]. بر مبنای تحقیقات [6 و 7] عوامل سازمانی موثر بر عملکرد ایمنی در چهار طبقه معیار های سطح سازمانی (سطح مدیریت ارشد)، سطح مدیریت ایمنی، سطح کار گروهی و معیار های سطح فردی طبقه بندی می شوند. معیار های سطح سازمانی را میتوان در چهار عامل تعهد مدیریت به ایمنی، بهبود مستمر ایمنی، روابط متقابل و توانمند سازی کارکنان خلاصه نمود [6]. مطالعات نشان داده است، در مواقعی که سرپرستان در پی ارتقاء ایمنی بوده اند، عملکرد کارکنان نیز غالباً افزایش یافته است علاوه بر این زمانی که سرپرستان زمان بیشتری را برای نظارت بر عملکرد ایمنی کارکنان صرف می کنند و بازخورد بیشتری به کارکنان در رابطه با عملکرد آن ها می دهند، عملکرد ایمنی نیز بهبود می یابد [8].

فعالیت های ایمنی سازمان دلالت بر روش های ایجاد ارتباط سازمان با سیاست های ایمنی سازمان، تامین دانش مورد نیاز و نهایتاً ترویج شیوه ها و روش های ایمنی کار دارد. از جمله فعالیت های ایمنی سازمان، می توان به آموزش های ایمنی و مانور های ایمنی اشاره نمود. سیستم مدیریت ایمنی نیز وظیفه سیاست گذاری های کلان و تدوین رویه های مربوط به ایمنی را بر عهده دارد [9].

جو ایمنی می تواند به صورت تصویر موقت و لحظه ای فرهنگ تلقی گردد که در ادراکات مشترک کارکنان از سازمان در یک زمان ویژه منعکس شده است [10]. تعهد مدیریت به ایمنی، دلالت بر نقش حمایتی مدیریت ارشد سازمان از برنامه های ایمنی در سطح سازمان دارد. زمانی که مدیران ارشد تعهد کافی به برنامه های ایمنی دارند، منابع کافی را در اختیار فعالیت های ایمنی قرار داده و به خوبی از آن فعالیت ها حمایت خواهند کرد [11]. سطح بالای تعهد، بر رفتار ایمنی کارکنان تأثیرگذار است [12]. در مطالعات انجام شده [13 و 14]، نیز بر تعهد مدیریت به ایمنی توجه بسیاری شده است. عامل بعدی در بین معیارهای سطح سازمانی بهبود مستمر است. بهبود مستمر را می توان به عنوان یک فرایند مستمر برنامه ریزی شده، سازمان یافته و نظام مند برای افزایش و بهبود عملکرد ایمنی سازمان تعریف نمود. هدف بهبود مستمر در ایمنی، تغییر و اصلاح مستمر رویه های موجود برای دستیابی به عملکردی بهتر از قبل می باشد [15]. عامل بعدی در این سطح، روابط متقابل در دستیابی به هدف های سازمانی نقش مهمی دارد. روابط متقابل تسهیل کننده ارتباطات بین کارکنان، سرپرستان و مدیران می باشد [12]. در تحقیقی نشان داده شده که حفظ روابط متقابل، کارکردی میان فرهنگی دارد و افراد را در هر سطحی از طبقه شغلی به هم نزدیک می کند [16]. در نهایت توانمند سازی کارکنان نیز اشاره به میزان توانایی کارکنان در حفظ مسائل ایمنی دارد، این توانایی غالباً از طریق مشارکت در تصمیم گیری و شرکت در جلسات مربوط به مسائل ایمنی به دست می آید [17]. علاوه بر این زمانی که

سرپرستان زمان بیشتری را برای نظارت بر عملکرد ایمنی کارکنان صرف می کنند و باز خورد بیشتری به کارکنان در رابطه با عملکرد آن ها می دهند، عملکرد ایمنی نیز بهبود می یابد [18] کار گروهی نشان دهنده ارتباطات، هماهنگی و همکاری در بین اعضای یک گروه کاری می باشد. کار گروهی نقش مهمی در عملکرد ایمنی دارد [16] نهایتاً معیار های سطح فردی شامل، خودکار آمدی ایمنی، دانش و آگاهی از ایمنی و رفتار های ایمنی می شود. در خودکار آمدی ایمنی اعتقاد بر این است که کارکنان شایستگی و صلاحیت کافی در رعایت الزامات ایمنی را داشته و بر اساس اعتقاد به این شایستگی در بسیاری از موارد همکاران را نیز در رعایت موارد ایمنی کنترل می نمایند [19]. یکی از تبعات منفی رشد تکنولوژی در جوامع بشری، بروز حوادث گوناگون از جمله حوادث ناشی از کار و بیماریهای شغلی می باشد که هر ساله تعداد بیشماری از انسانها را در واحدهای صنعتی و تولیدی، دچار مشکلات و رنجهای فراوانی می کند [20 و 21]. میزان حوادث ناشی از کار در کشورهای در حال توسعه، بالاتر از کشورهای توسعه یافته است [22]. طبق گزارش ILO، کشورهای در حال توسعه 60 درصد از کل نیروی کاری جهان را در خود جای داده اند که تنها 5 تا 15 درصد از این جمعیت به سرویس های بهداشت شغلی دسترسی دارند [23]. در سال 2008 میلادی 2/34 میلیون نفر از حوادث و بیماریهای ناشی از کار فوت نموده اند که 2/02 میلیون نفر توسط بیماریهای مختلف و 321/000 نفر به واسطه حوادث ناشی از کار در گذشته اند. براساس آخرین مطالعات و تحقیقات انجام شده توسط سازمان بین المللی تأمین اجتماعی (Security Social International ISSA: Association)، سرمایه گذاری در زمینه پیشگیری، ایمنی و بهداشت کار در بنگاههای اقتصادی نشان میدهد که حداقل میزان منافع حاصل از سرمایه گذاری در این موارد، برابر 2/2 واحد به ازای هر واحد سرمایه گذاری در سال است. اثرات مثبت ارتقای ایمنی و بهداشت کار در بنگاههای اقتصادی سبب افزایش انگیزه کاری در میان کارگران، ارتقای جایگاه و چهره موفق شرکت، کاهش مشکلات و ناهنجاریهای کاری و افزایش کیفیت محصول نهایی خواهد شد [20]. برای به حداقل رساندن تلفات و اثرات نامطلوب بر روند تولید، بهتر است تا با استفاده از سیستم های نوین مدیریتی و مهندسی فرهنگ زیربنایی، توسعه پایدار را در همه نهادها، سازمانها و حتی مراکز آموزشی ایجاد کرد و در این زمینه عملکرد سازمانها را به سوی بهبود مستمر سوق داد [24]. به منظور دستیابی به این هدف، اولین قدم شناسایی مخاطرات و مشکلاتی است که در محیط های کار وجود دارند؛ برای مثال برخی عوامل استرسزا در محیط کار میتواند موجب به خطر افتادن بهداشت و سلامت نیروی کار شده و یا به طور قابل ملاحظه ای آسایش او را سلب کند. پس از آنکه عامل مخاطره آمیز به درستی شناسایی شد، گام بعدی ارزشیابی عامل و اثر دیگر عواملی که ممکن است موجب افزایش یا ایجاد مشکل

گردند، می باشد [25]. پیشنهاد استاندارد مدیریت ریسک (ISO 31000)، فرآیند مدیریت ریسک را در پنج فعالیت تشریح می نماید که عبارتند از: ارتباطات و مشاوره، ایجاد زمینه، ارزیابی ریسک، عملیات بر روی ریسک، نظارت و بازنگری. از این پنج فعالیت، ارزیابی ریسک پیچیده ترین مبحث بوده و شامل شناسایی، تجزیه و تحلیل و ارزشیابی ریسک است [26]. روش ارزیابی ریسک، حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات FMEA: Failure Mode (Effects analysis)، اولین بار توسط ارتش آمریکا و تحت عنوان استاندارد 1629-STD-MIL برای صنایع هوا و فضا در دهه 1960 ارائه گردید و در صنعت خودرو، انجمن مهندسين خودرو استاندارد (SAEJ-1739) جهت بهبود کیفیت محصولات خودرو سازان تشکیل شد. استاندارد QS-9000 در زمینه مدیریت تضمین کیفیت، اهمیت ویژه ای به روش FMEA داد [27]. فواید FMEA شامل: پیشبینی و جلوگیری از مشکلات، کاهش هزینه ها، کوتاه شدن زمان توسعه محصول و دستیابی به محصولات و فرآیندهای امن و بسیار قابل اعتماد میباشد [28]. عربیان و همکاران در سال 2010، با استفاده از روش FMEA به تجزیه و تحلیل خطاهای سیستم توربینهای بادی پرداختند و با کمک این تکنیک، راهکارهایی برای ارتقاء طراحی توربینهای بادی ارائه نمودند [29]. توانمندی FMEA در تجزیه و تحلیل خطرات به حدی است که از این تکنیک در صنایع با ریسک آسیب رسانی بالا مانند صنعت هوانوردی و نیروگاه اتمی به منظور پیشگیری از وقوع حوادث استفاده میشود [30 و 31]. کارآمدی روش FMEA موجب شده است که علاوه بر صنایع، در مراکز بهداشتی- درمانی نیز، از آن به منظور بهبود وضعیت ایمنی بیماران و ارائه خدمات اضطراری پزشکی استفاده شود [32 و 33]. حالت شکست و بررسی اثر FMEA مانند تمام روشهای تحلیل مخاطرات، قابلیت شناسایی و ارزیابی آنها را دارد. مهمترین دستاورد این روش، تعیین عناصر آسیب پذیر فرآیند و مناطق بحرانی سیستم است که با در نظر گرفتن شاخص کمی هر خرابی، تأثیر به سزایی در کاهش مخاطرات و هزینه عملیاتی و تعمیراتی واحد دارد. نگاه سخت افزاری FMEA این امکان را برای سیستم فراهم میکند که با شناسایی زود هنگام حالت بالقوه خرابی و رفع آنها، علاوه بر کاهش اساسی میزان خسارات احتمالی، سطح ایمنی و قابلیت اعتماد فرآیند را بهبود بخشد [34]. FMEA روشی سیستماتیک است که در تجزیه و تحلیلهای متنوعی از طراحی سیستم مانند بررسی ایمنی سیستم، طرح ریزی فعالیتهای تعمیر و نگهداری سیستم، تعریف تمهیدات الزام برای تحمل شکست، کشف و ایزوالسیون شکست، شناسایی تغییرات طراحی و اقدامات اصلاحی الزم برای کاهش تأثیرات یک شکست در روی سیستم به کار میرود [35].

FMEA یک تکنیک شناسایی و پیشگیری از مشکلات فرایند تولید و ارائه خدمات قبل از وقوع آن میباشد [36] این تکنیک به طور گسترده ای در صنایع مختلف آمریکا، اروپا و ژاپن مطرح شده است بطوریکه نتیجه مطالعه آن بر روی 100 فرایند کاری در صنایع مختلف ژاپن حاکی از این میباشد که تکنیک FMEA به طور موفقیت آمیزی در بخشهای مختلف صنایع اتومبیل، تولید برق، راهسازی و ساختمان، مخابرات و... استفاده میگردد [37]. با توجه به کارآمدی روش در حال حاضر علاوه بر صنایع، در بیمارستانها و مراکز بهداشتی جهت ارزیابی وضعیت ایمنی و قابلیت اطمینان پروسه جراحی نیز از تکنیک FMEA استفاده میگردد [38].

میر محمدی و همکاران (1395) ارزیابی عوامل خطر به روش FMEA در کارخانه تولید تجهیزات مدارس را مورد بررسی قرار دادند که در این تحقیق کلیه واحد های کاری کارخانه شامل 12 ایستگاه کاری مختلف همراه با 55 شاغل ارزیابی شده و حالات شکست، اثرات شکست و علل شکست خطاها را محاسبه نمودند نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که از 51 ریسک فاکتور مختلف شناسایی شده در بین 12 ایستگاه کاری 25.4 درصد آن در محدوده قابل قبول، 54.9 درصد خطرات غیر قابل قبول و 16.9 درصد خطرات در سطح اضطراری قرار دارند و بالاترین ریسک، مربوط به کار بر روی دستگاه گیوتین، برشکاری، خم کن و سوراخ کاری در اثر برق گرفتگی می باشد و پیشنهاد کردند که با وجود کاربردی بودن روش FMEA در تعیین ریسک فاکتور های حوادث ناشی از کار از روش تکمیلی ارزیابی مقدماتی خطر (AHP) نیز برای ارزیابی کامل تر این فرایند استفاده گردد. [39].

امید وار و نیرومند (1396) ارزیابی ریسک جرثقیل های سقفی که یک مطالعه موردی می باشد را با استفاده از روش FMEA مبتنی بر اصول تصمیم گیری چند معیاره (MCDM)، و با استفاده از اصول منطق فازی و تئوری خاکستری در قالب اعداد Z و روش تصویر خاکستری (GRP) را مورد بررسی قرار دادند که در این تحقیق ابتدا یک تیم FMEA متشکل از 4 متخصص تشکیل گردید سپس نظرات تیم در قالب اعداد Z جمع آوری شده و وزن هر یک از ریسک فاکتور ها (D و O، S) با استفاده از روش فازی AHP تعیین و در نهایت حالت های شکست را با استفاده از روش GRP الویت بندی کردند نتایج این مطالعه نشان دادند، روش پیشنهادی توانایی الویت بندی ریسک ها و حذف محدودیت های ذکر شده در روش FMEA سستی را دارا می باشد که بطور کلی، نقاط قوت این مطالعه را نسبت به سایر روش ها بیان نمودند [40].

Beriha et al (2012) یک رویکرد هوش مصنوعی را برای پیش بینی انواع مختلف حوادث (از مرگبار تا جزئی) در یک محیط حاوی عدم قطعیت معرفی کردند. آنها دریافتند که احتمال وقوع حوادث در محیط کار یک پدیده تصادفی است اما سرمایه گذاری عاقلانه در حوزه های مختلف مثل هزینه کردن برای مراقبت سلامت، آموزش ایمنی، بهسازی ابزارها و ماشین آلات، و صرف هزینه برای ابزارها و تجهیزات ایمنی می تواند به کاهش میزان حوادث منجر شود. تعیین رابطه بین نوع حوادث و سرمایه گذاری دشوار است چون آنها از یک قانون قابل پیش بینی پیروی نمی کنند بلکه یک رابطه غیر خطی دارند. در چنین شرایطی، منطق فازی به تصویر کردن و نگاشت ورودی ها و خروجیها به شکل کارآمد برای ساخت موتور استنتاج کمک می کند طوری که می توان انواع مختلف حوادث را پیش بینی کرد. پیش بینی انواع مختلف حوادث به مدیران سازمان ها کمک می کند سیاست های سازمانی برای بهبود ایمنی تدوین کنند [41].

در طیف وسیع سلامت و ایمنی حرفه ای (OHS)، اقداماتی برای ارزیابی خطر در شیوه های ایمنی انجام شده اند. Gurconli و munyen (2009) برای ارزیابی مخاطراتی که کارکنان در یک محل ساخت و تولید با آن مواجه می شوند یک روشی با استفاده از تحلیل ایمنی مبتنی بر قانون فازی برای بررسی داده های غیر قطعی و ناکافی پیشنهاد کرده اند. با استفاده از این رویکرد، داده ها و اطلاعات تجربی حادثه، قضاوت ها و نظارت شخصی کارشناسان و سطح ایمنی یک محل ساخت و تولید را می توان در هم تلفیق کرد [42].

Badiru, Crumpton – Young, mccauley- Bell (1999) یک مدل پیش بینی با استفاده از تئوری مجموعه فازی برای شناسایی خطر آسیب ها و بیماری های شغلی ماندگار در محیط های کاری امروزی طراحی کرده اند. این مدل پیش بینی به پیشگیری و کنترل آسیب ها و بیماری های شغلی و حرفه ای فوق العاده کمک می کند. و به این ترتیب فراوانی و شدت این مشکلات را به حداقل می رساند [43].

Sii et al (2001) یک مدل ایمنی با استفاده از رویکرد منطق فازی برای تحلیل خطر در سیستم های دریایی طراحی کرده اند [44].

Marras, Karwowski, Zuradu (1997) یک سیستم مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی پیشنهاد کرده اند که می تواند مشاغل صنعتی را بر اساس احتمال خطر ابتلا به اختلالات پایین کمر (LBO) در اثر طراحی محل کار طبقه بندی

کند. یک چنین سیستمی می تواند در تحلیل خطر و پیشگیری از آسیب در اثر جابجایی دستی بارها در محیط های صنعتی مفید واقع شود. از این گذشته، این سیستم تشخیص طراحی شده می تواند مشاغل را بر اساس مشخصات وظایف بلند کردن به دسته LBO پر خطر و دسته LBO های کم خطر طبقه بندی کند [45].

Giacchetta, Ciarapica (2009) انعطاف پذیری و مزیت های استفاده از شبکه های فازی عصبی برای مطالعه آسیب های شغلی را به اثبات رسانده اند. آنها با استفاده از این تکنیک ها، داده های آسیب ها در منطقه Italian را به منظور طراحی الگوهای طبقه بندی بر اساس روند موجود در صنعت تحلیل کردند، و بعد یک تحلیل حساسیت با توجه به فراوانی آسیب ها انجام دادند [46].

Azadeh, Nikafrouz, khoshnoud, Fam (2008) یک سیستم کارشناسی فازی برای ارزیابی سلامت، ایمنی، محیط (HSE) و فاکتورهای ارگونومیک سیستم در یک پالایشگاه گاز طراحی کرده اند. ادعا شده است استفاده از سیستم های کارشناس فازی می تواند خطاهای انسانی را کاهش دهد، دانش کارشناسی و تخصصی به وجود آورد و حجم زیاد داده های مبهم را به شکل کارآمدی تفسیر کند [47].

Toe و Linga (2006) یک مدلی بنام شاخص ایمنی ساخت و تولید (CSI) طراحی کرده اند که با استفاده از پروسه تحلیل سلسله مراتبی (AHP) کارایی سیستم هایی مدیریت ایمنی محل های ساخت و تولید را اندازه گیری می کند [48].

Gershon, Dejoy و Schaffer (2004) در ارزیابی عوامل تعیین کننده و نقش وضعیت ایمنی اعلام کردند نگرش کارکنان نقش حیاتی در مسائل ایمنی ایفا می کند. آنها همچنین خاطر نشان کردند که حوادث صنعتی نه تنها به سرمایه انسانی لطمه می زنند بلکه به خاطر وقفه در پروسه های صنعتی، آسیب دیدگی ماشین آلات تولید و زیر سوال رفتن وجهه شرکت ها خسارت های مالی نیز به بار می آورند [49].

Prussia, Willis, Brown (2000) معتقدند با پیش بینی دقیق رفتار ایمن کارکنان در رابطه با فاکتورهای اجتماعی، تکنیکی و فردی در صنعت فولاد می توان حوادث محل کار را به حداقل رساند [50].

Barwick, Komaki و Scott (1978)، Lawson, Heinzman, Komaki (1980) دریافتند با آموزش و تقویت رفتار می توان گرایش برای رفتارهای پر خطر در محیط کار را کاهش داد [51 و 52].

Mosleh, Mohaghegh (2009) با استفاده از یک رویکرد Bayesian (بیزی) یک تکنیک اندازه گیری برای مدل های علی و معلولی ایمنی سازمانی برای ثبت رابطه بین فاکتورهای سازمانی و عملکرد حوزه ایمنی پیشنهاد کرده اند [53].

Wary, Ming, Miao, Targ, Lin (2008) معتقدند فاکتورهای مثل آگاهی و شایستگی ایمنی، برقراری ارتباطات مرتبط با ایمنی، محیط سازمانی، پشتیبانی مدیریتی، قضاوت درباره خطر، اقدامات احتیاطی ایمنی و آموزش ایمنی نشان دهنده جو و اوضاع و احوال وضعیت ایمنی هستند، چون این فاکتورها 70.5٪ واریانس در تحلیل های نظر سنجی یک پرسشنامه ای که از تجزیه تحلیل فاکتورها استفاده می کند را به خود اختصاص می دهند. این مطالعه یک اختلاف قابل ملاحظه ای در بعضی مقیاس های ایمنی میان حوادث رخ داده و سازمان ها نشان می دهد. با اینکه یک تعداد زیادی از مطالعات به ارزیابی شیوه های ایمنی در انواع مختلف صنایع پرداخته اند اما به پیش بینی انواع مختلف حوادث در مقابل سرمایه گذاری روی اقدامات پیشگیرانه مختلف به قدر کافی در متون و آثار موجود پرداخته نشده است. برای طراحی یک چهارچوب استراتژیک به منظور بهبود ایمنی پیش بینی انواع مختلف حوادث امر ضروری می باشد. برای این منظور، این مطالعه تلاش کرده است از یک رویکرد منطق فازی برای پیش بینی دقیق نرخ حوادث در محیط های حاوی عدم قطعیت ها که داده های کافی وجود ندارند استفاده کند [54].

Kuok ho tang و دیگران (2017) فاکتور های موثر بر ایمنی در صنعت نفت و گاز مالزی را بررسی کردند این مطالعه با استفاده از یک پرسشنامه ای متشکل از شاخص ها یا اندیکاتورهای ایمنی برای عملیات در ساحل انجام شده است که از بررسی و مرور متون و آثار موجود و مشورت با کارشناسان این صنعت به دست آمده اند. پاسخ دهندگان باید اهمیت شاخص ها و احتمال وقوع حادثه به خاطر رعایت نکردن آنها را درجه بندی کنند. این مطالعه نشان می دهد مدیریت اضطراری و سیستم راه اندازی و خاتمه (Start-up, Shut down) و همچنین مستندات بیشترین اهمیت را در ایمنی عملیات ساحلی دارند. اگر شاخص هایی که اهمیت بالاتری دارند رعایت نشوند احتمال وقوع حوادث یا خطاها افزایش می یابد. این مطالعه به شناخت و طراحی مهم ترین شاخص های ایمنی و سلامت برای

تأسیسات نفت و گاز ساحلی کمک می کند. از این گذشته، این مطالعه می تواند ارتباط شاخص ها با عملکرد ایمنی واقعی تأسیسات نفت و گاز ساحلی را بررسی کند [55].

Ilbahar, Karasan, Cebi, Kahraman (2018) یک رویکرد جدید ارزیابی خطر برای ایمنی و سلامت حرفه ای با استفاده از سیستم استنتاج فازی و AHP فازی فیثاغورثی را ارائه دادند که این مطالعه با آثار و متون موجود دارد این است که در آن از یک رویکرد تلفیقی جدید- ارزیابی خطر متناسب فازی فیثاغورثی (PFPPRA)- که شامل Fine Kinne، پروسه سلسله مراتبی تحلیلی فازی فیثاغورثی و یک سیستم استنتاج فازی می شود برای تحلیل خطر در حوزه سلامت و ایمنی حرفه ای استفاده شده است. تفاوت اصلی رویکرد پیشنهادی این است که این روش ها را طوری تلفیق کرده است که یک ارزیابی خطر دقیق تر به دست می آید. مخاطرات یک پروسه حفاری در یک محوطه ساخت و ساز با این روش پیشنهادی ارزیابی می شوند، و نتایج آن با «تحلیل اثرات و حالت های ناتوانی فازی فیثاغورثی» (PFFMEA). مقایسه می شوند که نشان داده می شود روش پیشنهادی پیامدهای قابل اطمینان و آموزنده ای به همراه دارد که ابهام پروسه تصمیم گیری را بهتر نشان می دهند [56]. روش Fine kinney یک تکنیک کمی مفید برای برآورد مخاطرات می باشد. در روش Fine kinney، احتمال، شدت، و فراوانی هر خطر شناسایی شده به دست می آیند. احتمال، امکان وقوع خسارت و آسیبی است که در طول زمان اتفاق می افتد در حالیکه فراوانی به تعدد دفعات قرار گرفتن در معرض مخاطرات اشاره می کند. شدت، بزرگی لطمه یا خسارت وارد آمده به انسان، محل کار و محیط در صورت وقوع خطر را نشان می دهد. امتیاز خطر با ضرب کردن احتمال، شدت و فراوانی در یکدیگر محاسبه می شود. سپس قابل قبول بودن یا قابل قبول نبودن وضعیت ارزیابی می شود. مطالعه ای که از هر دو روش AHP، Fine kinney استفاده کرده باشد تا سال 2017 وجود نداشت.

Gul et al (2017) از ترکیب روش های AHP فازی، Vikon فازی و Fine kinney برای پروسه تعمیر و نگهداری مخزن تعادل استفاده کردند [57].

Kokangul et al (2017) از هر دو روش AHP و Fine kinney برای ارزیابی مخاطرات در یک شرکت ساخت و تولید بزرگ استفاده کردند. مخاطرات از طریق AHP الویت بندی شدند و با استفاده از روش Fine kinney ارزیابی شدند. رابطه بین نتایج این دو روش تجزیه تحلیل شد. تا بازه های دسته بندی های خطر در AHP شناسایی شوند [58].

Fang et al (2003) یک چهارچوبی برای انتخاب مناسب ترین داربست برای یک پروژه ساخت و ساز با استفاده از AHP پیشنهاد کردند. هزینه اولیه، هزینه اجرا، مخاطرات ایمنی، تغییرات هزینه، سرعت نصب، بازده معاملات دیگر، کیفیت پروژه، و تصویر کلی فاکتورهای مورد نظر در مطالعه آنها بودند [59].

Aminbakhsh et al (2013) یک چارچوبی معرفی کردند که از AHP و مدل هزینه ایمنی برای الویت بندی مخاطرات ایمنی در پروژه های ساخت و ساز استفاده می کرد. مخاطراتی که ایمنی ساخت و ساز را تحت الشعاع قرار می دهند به سه گروه مخاطرات حوادث، مخاطرات فیزیکی و مخاطرات شیمیایی تقسیم می شوند. این گروه های اصلی باز به زیر گروه های لغزشی و سقوط، «برق گرفتگی و صاعقه»، «آتش سوزی و انفجار»، «ماشین آلات و تجهیزات»، «ارتعاش»، «دما»، «تهویه»، «سوختگی ها» و مخاطرات نورولوژیک تقسیم می شوند [60].

Chan et al (2004) از AHP برای شناسایی الویت پروسه ها در صنعت ساخت و ساز هنگ کنگ استفاده کردند. در این مطالعه، ساختار AHP شامل هزینه، مدت زمان ساخت، مهارت لازم، مقتضیات مشتری و تصویر کلی، می شود [61].

Podgórski (2015) از AHP برای انتخاب شاخص های کلیدی عملکرد برای ارزیابی عملکرد حرفه ای در حوزه سیستم ایمنی و علامت حرفه ای استفاده کرد. معیارهای مورد استفاده در این مطالعه اختصاصی، قابل اندازه گیری، قابل حصول، مرتبط و دارای محدودیت زمانی هستند [62].

Zheng et al (2012) از AHP برای ارزیابی ایمنی کار در محیط های گرم و مرطوب استفاده کردند. برای برخورد با عدم قطعیت و نادقیق بودن داده ها از عددهای فازی دوزنقه ای استفاده شد.

فاکتورهای اصلی مورد استفاده در این مطالعه کار، محیط کارکنان بودند در حالیکه زیر فاکتورهای ماهیت کار، انسجام کار، مدت زمان کار، دما، رطوبت، سرعت جریان هوا و شدت تشعشع گرما، 0-7 بالا بودن سازه، آموزش ایمنی و محافظت پرسنل نیز در نظر گرفته شدند [63].

Wang et al (2016) از یک AHP فازی غیر خطی برای ارزشیابی خطر در یک معدن زغال سنگ استفاده کردند. معیارهای مدیریتی، محیطی عملیاتی و فردی فاکتورهای خطری بودند که در این مطالعه بررسی شدند. از روش برنامه ریزی ترجیح فازی لگاریتمی برای تحلیل داده ها استفاده شد [64].

Janackovic et al (2013) از AHP فازی برای الویت بندی شاخص های اصلی ایمنی حرفه ای در شرکت های ساخت و ساز جاده استفاده کردند [65].

Macchiaroli , Fera (2010) از شبیه ساز دینامیک آتش سوزی و AHP برای ارزیابی ایمنی آتش سوزی در تونل ها استفاده کردند و برای این منظور معیارهای منوکسید کربن، اکسیژن، دما، و قابلیت رویت را در نظر گرفتند [66].

Macchiaroli, Fera (2010) یک مدل جدید جالبی پیشنهاد کردند که «تحلیل بحرانی بودن اثرات و حالت های ناتوانی (FMECA)»، «ارزشیابی خطر مبتنی بر سناریو» (SeceBRA)، استاندارد ایتالیایی AHP, UNI, 7249; 2007 و AHP را شامل می شد. در مطالعه آنها، مخاطرات حرفه ای الویت بندی می شوند و با نتایج روش های کلاسیک و داده های آماری یک شرکت بخصوص و با بحث صنعت ملی مقایسه می شوند [67].

Van Gestal و Topuz (2016) یک رویکرد ارزشیابی خطر محیطی از نظر نانو ذرات مهندسی شده با استفاده از هر دو روش AHP و استنتاج فازی طراحی کردند، که روش پیشنهادی طبقه خطر و درجه عضویت آن را مشخص می کرد [68].

مواد و روش ها

پژوهش حاضر از لحاظ هدف تحقیق از نوع تحقیقات مدل سازی-کاربردی بوده و از لحاظ روش انجام کار توصیفی-تحلیلی می باشد. در این تحقیق پژوهش بر اساس ادبیات تحقیق و روش FMEA و سیستم استنتاج فازی به منظور ارزیابی عملکرد ایمنی بر اساس عوامل سازمانی طراحی شده است. در طراحی و مدل سازی سیستم استنتاج فازی، دانش مربوط به تعیین ورودی ها و خروجی سیستم و همچنین قوامین استنتاج فازی از ادبیات تحقیق و از طریق مطالعات کتابخانه ای به دست آمده است. روش های تجزیه تحلیل با توجه به مرسوم بودن، کارایی و سهل بودن و دقت تجزیه و تحلیل در به کارگیری انتخاب شده است. بنابراین برای ارزیابی ایمنی شناسایی ریسک ها توسط روش FMEA و برای فازی سازی از تابع مثلثی، برای میانگین فازی از روش مرکز ناحیه و برای استنتاج فازی روش سوگنو به کار گرفته شده است. پس از تدوین مدل و اطمینان از صحت مدل، سیستم تدوین شده به صورت مطالعه

موردی به منظور ارزیابی عملکرد ایمنی در کارخانه ماشین سازی اراک بکار گرفته شده است. در ادامه مراحل طراحی FMEA و سیستم استنتاج فازی به صورت گام به گام توضیح داده می شود.

طراحی سیستم

طراحی FMEA

جهت ارزیابی ایمنی سطوح مختلف سازمانی کارخانه ماشین سازی اراک بر مبنای روش FMEA فرایند ارزیابی ریسک به صورت گام به گام زیر انجام شده است:

1- تشکیل تیم ارزیابی و شناسایی عوامل سازمانی موثر بر عملکرد ایمنی و شناسایی حالت های شکست

در این پژوهش، جامعه آماری شامل متخصصین شاغل در فرایند می باشد و به علت غیر تصادفی بودن انتخاب متخصصین، افراد مورد نظر به صورت غیر موردی و بر اساس تخصص و شرایط تعریف شده از متخصص (خبره) در این پژوهش و مطالعات قبلی در این حوزه انتخاب شده اند. بر اساس توصیه های موجود در Dyadem [67] تعداد مطلوب افراد تیم FMEA بین 4 تا 6 نفر می باشد که ملاک اصلی انتخاب خبره در این پژوهش سابقه کار (سابقه کار بیش از 10 سال) و آشنایی با مفاهیم ایمنی، عوامل سازمانی و ارزیابی ریسک می باشد. که بر این اساس 6 نفر از افراد فعال در فرایند شامل: یک فوق لیسانس صنایع از واحد منابع انسانی و آموزش، یک مدیر از منابع انسانی، دو کارشناس ایمنی از واحد ایمنی و یک مسئول کارگاه و یک کارگر به عنوان فرد مشغول در کارگاه انتخاب شدند سپس اعضای تیم 5 سطح شکست موثر بر ایمنی کارخانه را که بر اساس تحقیقات [6 و 7] عوامل سازمانی موثر بر عملکرد ایمنی در چهار طبقه معیار های سطح سازمانی (سطح مدیریت ارشد)، سطح مدیریت ایمنی، سطح کارگروهی و معیار های سطح فردی معرفی شده است به عنوان چهار سطح سازمانی موثر بر عملکرد ایمنی و همچنین سطح فرهنگی که در تحقیقی نشان داده شده که حفظ روابط متقابل، کارکردی میان فرهنگی دارد و افراد را در هر سطحی از طبقه شغلی به هم نزدیک می کند [16] به عنوان سطح سازمانی موثر بر عملکرد ایمنی برای اولین بار در این پژوهش تعیین و علل و پیامد هر یک شناسایی گردید.

به علت غیر همگن بودن افراد خبره در این پژوهش چهار شاخص عنوان شغلی، تجربه، مدرک تحصیلی و سن به عنوان متغیر وزن افراد خبره در ارزیابی دخیل گردیده و به هر یک از این افراد یک وزن اختصاص یافت (جدول 1)

جدول (1) متغیر های مورد استفاده جهت وزن دهی تیم ارزیابی

متغیر	طبقه بندی	امتیاز
عنوان شغلی	سطح عالی آکادمیک (پرفسور)	5
	سطح متوسط آکادمیک (استاد یار)	4
	مهندس	3
	تکنسین	2
	اپراتور (کارگر)	1
تجربه (سال)	بیشتر از 30	5
	30-20	4
	20-10	3
	10-5	2
	کمتر از 5	1
سطح تحصیلات	دکتر	5
	کارشناس ارشد	4
	کارشناس	3
	دیپلم	2
	دبیرستان	1
سن	کمتر از 50	4
	50-40	3
	40-30	2
	بیشتر از 30	1

پس از محاسبه امتیاز گروه ارزیابی Fmea بر اساس جدول (1) امتیاز گروه مطابق جدول (2) بدست آمد.

جدول (2) امتیاز گروه ارزیابی FMEA

افراد فعال در فرایند	عنوان شغلی	تحصیلات	تجربه	سن
A	مهندس	کارشناس ارشد	10	34
B	مهندس	کارشناس	27	49
C	مهندس	کارشناس	25	40
D	مهندس	کارشناس	25	45
E	مهندس	کارشناس	25	46
F	اپراتور (کارگر)	دیپلم	28	47
جمع امتیاز	16	18	22	17

همانطور که از جدول (2) مشخص است جمع کل امتیاز گروه ارزیابی FMEA برابر 73 می باشد.

2- تعیین الگوی خطرات بالقوه

پس از شناخت فرآیند، اعضای گروه با توجه به شواهد و مدارک و در طی جلسات طوفان ذهنی به سناریو سازی الگوی خطر بالقوه سیستم پرداختند و نتایج بدست آمده در کاربرگ FMEA ثبت گردید.

3- فهرست کردن آثار خطرات بالقوه

فهرست نویسی مطابق طبقه بندی دهمین کنفرانس جهانی آمارشناسان کار و بر اساس نوع و نحوه به وجود آمدن اثرات خطر به شرح ذیل صورت پذیرفت:

- 1- آسیب های جزئی و زخم های باز
- 2- شکستگی ها
- 3- در رفتگیها، رگ به رگ شدن ها و کشیدگی ها
- 4- قطع عضو های ضربه ای (شامل ضربه به چشم)
- 5- صدمه و آسیب های داخلی
- 6- سوختگی ها، خوردندگی ها، سوختگی با آب جوش و یخ زدگی ها
- 7- مسمومیت ها و عفونت های حاد
- 8- دیگر انواع مشخص آسیب
- 9- ماهیت آسیب های مشخص نشده

4- اختصاص درجه شدت برای اثرات خطرات بالقوه

تیم FMEA با توجه به این نکات که اولاً ارزیابی شدت اثر می بایست بر اساس آگاهی و خبرگی افراد گروه انجام شود و دوم اینکه هر خطر آثار مختلفی دارد و میبایست اثر خطر را درجه بندی کرد نه خطر را، و سوم برای خطرانی که می توانند چندین اثر داشته باشند، هر اثر دارای درجه شدت خودش می باشد، نمره عددی شدت اثر را برای خطرات شناسایی شده بر اساس جدول (3) تعیین گردید.

جدول (3) رتبه بندی خطر بر اساس شدت خطر

رتبه	شدت اثر	شرح
10	خطرناک-بدون هشدار	وخامت تاسف بار است مثل خطر مرگ، تخریب کامل، هزینه خسارت بالای 50 میلیون تومان، جبران خسارت محیط زیستی ناممکن
9	خطرناک-با هشدار	وخامت تاسف بار است اما با هشدار، هزینه خسارت 20 الی 50 میلیون تومان، جبران خسارت محیط زیستی بالای 20 سال
8	خیلی زیاد	وخامت جبران ناپذیر است-عدم توانایی انجام وظیفه اصلی از دست دادن یک عضو بدن، هزینه خسارت 10 الی 20 میلیون تومان، جبران خسارت محیط زیستی 10 الی 20 سال
7	زیاد	وخامت زیاد است همانند آتش گرفتن تجهیزات، سوختگی بدن، هزینه خسارت 5 الی 10 میلیون تومان، جبران خسارت محیط زیستی 5 الی 10 سال
6	متوسط	وخامت کم است مانند ضربیدگی، هزینه خسارت 2 الی 5 میلیون تومان، جبران خسارت محیط زیستی 2 الی 5 سال
5	کم	وخامت کم است مانند ضربیدگی، مسمومیت خفیف غذایی، هزینه خسارت 1 الی 2 میلیون تومان، جبران خسارت محیط زیستی 1 الی 2 سال
4	خیلی کم	وخامت خیلی کم است ولی بیشتر افراد آن را احساس میکنند، هزینه خسارت 500 هزار تومان الی 1 میلیون تومان، جبران خسارت محیط زیستی 6 ماه الی 1 سال
3	اثرات جزئی	اثر جزئی بر جای می گذارد مثل خراش دست بهنگام تراشکاری، هزینه خسارت 100 هزار تومان الی 500 هزار تومان، جبران خسارت محیط زیستی بین 1 ماه الی 6 ماه
2	خیلی جزئی	بدون اثر، هزینه خسارت 20 هزار تومان الی 100 هزار تومان، جبران خسارت محیط زیستی کمتر از 1 ماه
1	هیچ	هزینه خسارت تا 20 هزار تومان

5- اختصاص درجه احتمال وقوع برای هر خطر بالقوه

برای تعیین درجه وقوع، در مواردی که داده های واقعی در مورد یک خطر در جدول (4) وجود نداشت، تیم FMEA بالاترین درجه وقوع شکست را در نظر گرفتند البته در اکثر موارد افراد تیم دلیل ایجاد خطر را از مصاحبه حضوری با مهندسین، کارگران با تجربه و واحد تعمیرات کارخانه کشف می کردند و به این ترتیب سنجش درجه وقوع خطر بهتر صورت پذیرفت.

جدول (4) رتبه بندی خطرات بر اساس احتمال وقوع خطر

رتبه	نرخ های احتمالی خطر	احتمال وقوع
10 9	1 در 2 1 در 3	بسیار زیاد خطر تقریباً اجتناب ناپذیر است
8 7	1 در 8 1 در 20	زیاد-خطر های تکراری
6 5 4	1 در 80 1 در 400 1 در 2000	متوسط-خطر موردی
3 2	1 در 15000 1 در 1500000	کم-خطر های نسبتاً نادر
1	کمتر از 1 در 1500000	بعید-خطر نا محتمل

6-اختصاص درجه احتمال کشف برای هر خطر بالقوه و یا اثر آن

احتمال کشف نوعی ارزیابی از میزان توانایی سیستم جهت شناسایی یک علت یا مکانیزم وقوع خطر وجود دارد. در امتیاز دهی درجه کشف اعضای تیم کنترل های موجود ایمنی تجهیزات را بازبینی نمودند و اگر کنترل های جاری موجود نبود، احتمال کشف خطر بالقوه را بسیار کم تلقی می کردند و بنابراین درجه کشف را بسیار بالا و در 9 یا 10 محاسبه نمودند. درجه احتمال کشف خطر بر اساس جدول (5) تعیین گردید.

جدول (5) رتبه بندی خطرات بر اساس احتمال کشف خطر

رتبه	احتمال کشف	معیار: احتمال کشف
10	مطلقاً هیچ	هیچ کنترلی وجود ندارد و یا در صورت وجود قادر به کشف خطر بالقوه نیست
9	خیلی ناچیز	احتمال خیلی ناچیزی دارد که با کنترلهای موجود خطر ردیابی و آشکار شود
8	ناچیز	احتمال خیلی کمی دارد که با کنترلهای موجود خطر ردیابی شود
7	خیلی کم	احتمال خیلی کمی دارد که با کنترلهای موجود خطر ردیابی شود
6	کم	احتمال کمی دارد که با کنترلهای موجود خطر ردیابی شود
5	متوسط	در نیمی از موارد محتمل است که با کنترلهای موجود خطر بالقوه ردیابی شود
4	نسبتاً زیاد	احتمال نسبتاً زیادی دارد که با کنترلهای موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
3	زیاد	احتمال زیادی دارد که با کنترلهای موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
2	خیلی زیاد	احتمال خیلی زیادی دارد که با کنترلهای موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار شود
1	تقریباً حتمی	تقریباً بطور حتم با کنترلهای موجود خطر بالقوه ردیابی و آشکار می شود.

7- اختصاص نمره الویت پذیری (RPN) برای هر خطر بالقوه

نمره الویت پذیری که در محدوده 1 تا 1000 می باشد با ضرب کردن درجه شدت و درجه وقوع و احتمال کشف در یکدیگر به دست آمد:

$$\text{RPN} = \text{احتمال کشف} \times \text{احتمال وقوع} \times \text{شدت اثر}$$

8- تشخیص الویت های خطر بالقوه برای اقدامات اصلاحی

در این مرحله مخاطرات را بر اساس عدد الویت ریسک (RPN) رتبه بندی کرده و بر اساس نظر تیم FMEA حد RPN تعیین گردید. در این پژوهش ضریب اطمینان 70% برای کنترل مخاطرات به شرح ذیل بدست آمد:

$$1000 \times 70\% = 700 \quad 1000 - 700 = 300$$

مخاطرات دارای RPN پایین تر از 300 مخاطرات قابل قبول و مخاطرات دارای RPN بالاتر از 300 به عنوان ریسک بارز شناسایی شدند که بر حسب الویت عددی آن، طبق جدول (6) برای آنها اقدام اصلاحی تعریف گردد.

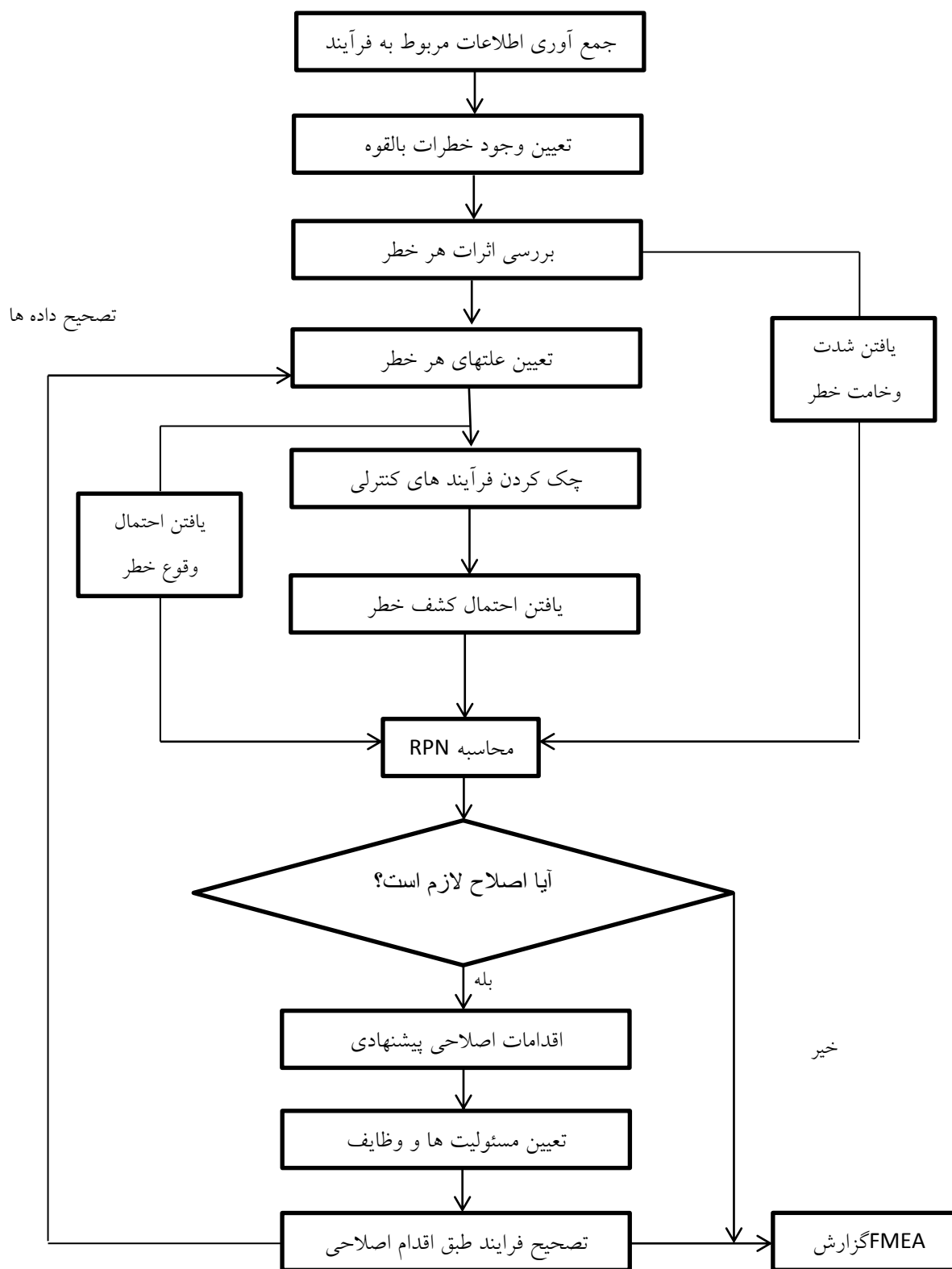
جدول (6) تعیین سطح ریسک برای الویت اقدام اصلاحی

سطح ریسک	حدود اولویت ریسک RPN
ریسک پایین-درجه 4	$1 \leq RPN \leq 100$
ریسک متوسط-درجه 3	$101 \leq RPN \leq 200$
ریسک بالا-درجه 2	$201 \leq RPN \leq 279$
	ریسک های با شدت اثر 8-10
	ریسک های با احتمال وقوع 8-0
ریسک فوق العاده شدید-درجه 1	$280 \leq RPN \leq 1000$

عدد الویت ریسک از ضرب کردن درجه شدت و درجه وقوع و احتمال کشف در یکدیگر بدست می آید و می تواند از 1 تا 1000 متغیر باشد. در نهایت با استفاده از RPN بدست آمده می توان آن را در چهار گروه ریسک پایین، ریسک متوسط، ریسک بالا و ریسک خیلی بالا قرار داد که ریسک های بالا و بسیار بالا به اقدامات کنترلی فوری نیاز هستند. این بازه از مقادیر، قراردادی هستند و بسته به شرایط محیط کار و میزان سطح ریسک های شناسایی شده تغییر می کند. یکی از مهمترین اصولی که در ارزیابی ریسک بر اساس تئوری ساختاری FMEA باید در نظر گرفته شود

این است که فرآیند های مذکور هرگز پایان نمی یابد و منابع جدید ریسک به عنوان طبقات اضافی و یا عناوین جدید اضافه گردند.

و در آخر نتایج FMEA در فرم FMEA طراحی شده مطابق نمودار(1) گزارش FMEA محاسبه و ثبت گردید (جدول 7) و میانگین RPN سطوح مختلف سازمانی و درجه ریسک هر سطح سازمانی کارخانه ماشین سازی اراک بدست آمد. در این پژوهش تعداد خطر های شناسایی شده و بررسی شده 20 مورد بوده است. با توجه به توصیفی بودن پژوهش حاضر تحلیل های توصیفی و فراوانی خطرات مورد ارزیابی به عنوان ارزیابی آماری مورد استفاده قرار گرفته است. روش کسب اطلاعات نیز به صورت بازدید های میدانی، مصاحبه و چک لیست صورت گرفته است.



نمودار (1) الگوریتم FMEA تحقیق

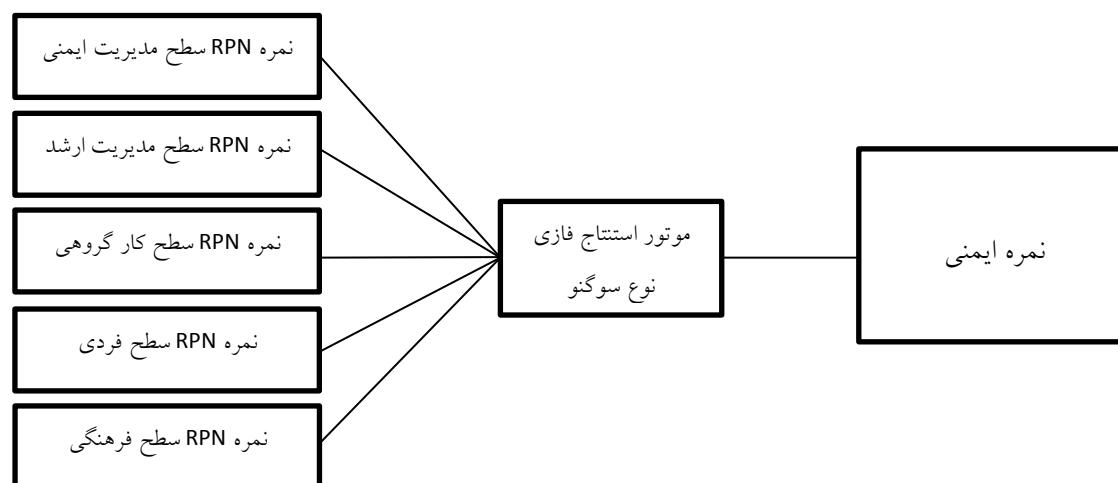
جدول (7) فرم FMEA عوامل سازمانی موثر بر عملکرد ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک

سطوح سازمانی	خطاهای بالقوه	اثرات بالقوه	شدت (S)	علل بالقوه	احتمال وقوع (o)	روش های شناسایی	احتمال کشف (D)	RPN	سطح ریسک (درجه)
سطح مدیریت ایمنی	عدم فعالیت برای ارتقاء ایمنی	آگاه نشدن نسبت به مسائل ایمنی جدید	6	فراهم نشدن بستری مناسب برای بالا بردن اطلاعات ایمنی	5	توسط دستگاه نظارت	3	90	4
	عدم واکنش نسبت به رفتار های نا ایمن	آسیب فردی و جمعی و آسیب رساندن به دستگاه	8	عدم مسئولیت پذیری	7	توسط دستگاه نظارت	2	112	3
	عدم بازرسی های مکرر	عدم شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک ها	7	نادیده گرفتن بروز حوادث و خطرات	7	توسط دستگاه نظارت	2	98	4
	در نظر نگرفتن سیستم های ایمنی ثابت به تعداد کافی	آسیب رساندن به فرد، دستگاه و محیط کارگاه	7	نادیده گرفتن قوانین و مقررات ایمنی، نداشتن بودجه	4	توسط دستگاه نظارت	1	28	4
	عدم تجهیز نفرات به وسایل ایمنی	آسیب فردی	7	نادیده گرفتن قوانین و مقررات ایمنی	8	توسط دستگاه نظارت	1	56	4
	عدم اعلام آموزش های مورد نیاز برای پیشگیری از ایجاد حوادث	عدم آشنایی نفرات نسبت به مسائل و تجهیزات ایمنی	7	آگاه نبودن از نقش موثر آموزش در پیشگیری از حوادث	6	توسط دستگاه نظارت	5	210	2
میانگین RPN									4
سطح مدیریت ارشد	عدم توجه به اولویت داشتن ایمنی در کنار سایر مسائل دیگر	ایجاد بروز حادثه های غیر قابل جبران	8	اهمیت ندادن به بخش ایمنی نسبت به دیگر واحدها	5	دیداری پس از بروز حادثه	5	200	2
	عدم برخورد سخت گیرانه و با جدیت به جهت پیشگیری از وقوع حادثه با واحد ایمنی	عدم انجام وظایف محوله و تکرار شدن حادثه	7	کوتاهی در اجرای قوانین و مقررات	7	دیداری در زمان تکرار حادثه	3	147	3
	در اختیار قرار ندادن منابع کافی (پول، نیروی انسانی و حمایت معنوی) در بخش ایمنی	عدم عملکرد مناسب واحد ایمنی و بروز حادثه	9	نداشتن بودجه و نیروی متخصص	5	دیداری پس از بروز حادثه	3	135	3
	عدم نداشتن برنامه های مداوم و مستمر در خصوص گزارش و تجزیه و تحلیل حوادث توسط واحد ایمنی	احتمال وقوع حادثه	5	اهمیت ندادن به هشدار های واحد ایمنی	5	دیداری پس از بروز حادثه	3	75	3
	عدم حمایت از پروژه هایی که برای بهبود وضعیت ایمنی است	پایین آمدن کارائی و راندمان ایمنی	5	مفید ندانستن اهداف روشن ایمنی	4	دیداری پس از بروز حادثه	5	100	3
میانگین RPN									3
سطح کار گروهی	عدم کمک کردن به یکدیگر برای حل مشکلات ایمنی محل کار	مراقب نبودن رفتارهای ناایمن دیگران جهت جلوگیری از ایجاد حادثه	4	عدم مسئولیت نسبت به یکدیگر	8	دیداری	2	64	4
	عدم بحث کردن با یکدیگر درباره موضوعات ایمنی پیش آمده و یادگیری از تجارب	مفید ندانستن اهداف روشن ایمنی	3	اعتماد نکردن به توانایی یکدیگر برای اطمینان از ایمنی در کارها	6	دیداری	8	144	3
میانگین RPN									3
سطح فردی	عدم استفاده از وسایل ایمنی فردی از قبیل: کفش، کلاه، لباس مخصوص، ماسک، دستکش و غیره توسط فرد	آسیب رسیدن به فرد	9	متعهد نبودن نسبت به مسائل ایمنی	8	دیداری	2	144	3
	عدم مهارت کافی در استفاده از تجهیزات ایمنی	آسیب رسیدن به فرد	7	عدم آموزشهای لازم	6	دیداری	1	42	4
	عدم مسئولیت پذیری فرد در قبال سلامتی خود	آسیب رسیدن فرد	5	بی اهمیت بودن نسبت به بروز حوادث های احتمالی	7	دیداری	8	280	1
	عدم شناسایی خطرات ناشی از استفاده نا مناسب از دستگاه های کارگاهی	آسیب رساندن به فرد، دستگاه و کارگاه	8	نداشتن مهارت و تجربه کافی در استفاده از دستگاه های کارگاهی	6	دیداری	6	288	1
میانگین RPN									3
سطح فرهنگی	عدم درک ارتباط مدیریت ایمنی، مدیریت ارشد، کار گروهی و فردی با ایمنی محل کار	اختلال در رعایت مسائل ایمنی و در نهایت ایجاد حادثه	6	عقب بودن از مسائل ایمنی روز دنیا، تجهیزات و امکانات ایمنی و فرهنگ افراد	6	تقریباً غیر قابل تشخیص	8	288	1
	عدم فرهنگ سازی استفاده از وسایل حفاظت فردی	پایین آمدن کارائی و راندمان ایمنی	7	سیستم تشویق و تنبیه در سازمان در خصوص رعایت مسائل ایمنی وجود ندارد	6	دیداری	3	126	3
	عدم توجه به هشدار ها و علائم ایمنی	اختلال در رعایت مسائل ایمنی و در نهایت ایجاد حادثه	5	عدم آموزشهای لازم و نادیده گرفتن قوانین و مقررات ایمنی	7	دیداری	3	105	3
میانگین RPN									3

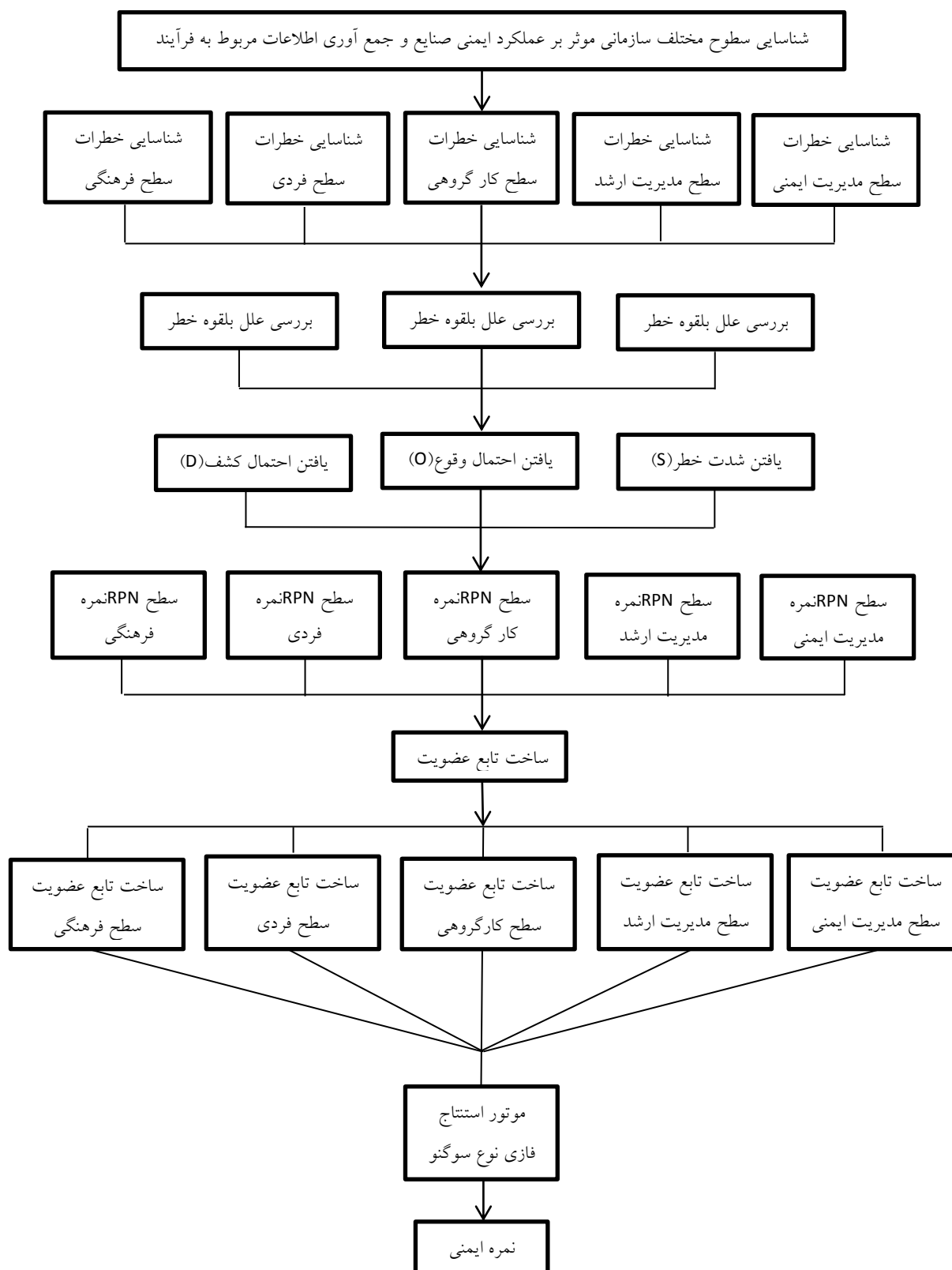
همانطور که از جدول (7) مشخص است طبق جدول (6) سطح مدیریت ایمنی ، سطح مدیریت ارشد و سطح کارگروهی دارای نمره RPN پایین و درجه ریسک متوسط و سطح فردی و سطح فرهنگی دارای نمره RPN بالا و درجه ریسک بالا می باشند.

طراحی سیستم استنتاج فازی

برای طراحی سیستم استنتاج فازی به منظور ارزیابی عملکرد ایمنی از تابع عضویت مثلثی و برای میانگین فازی از روش مرکز ناحیه و برای استنتاج فازی از روش سوگنو استفاده و تمام عملیات ریاضی توسط نرم افزار متلب انجام گردیده است که در این مرحله، ورودی ها و خروجی ها تعیین می گردند. ورودی ها شامل نمره RPN سطح مدیریت ایمنی، سطح مدیریت ارشد، سطح کارگروهی، سطح فردی و سطح فرهنگی بدست آمده از جدول (7) و خروجی نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک می باشد. نمودار (2) مدل سیستم استنتاج فازی و نمودار (3) الگوریتم ترکیبی FMEA و سیستم استنتاج فازی عملکرد ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک را نشان می دهد.



نمودار (2) مدل سیستم استنتاج فازی عملکرد ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک



نمودار (3) الگوریتم ترکیبی FMEA و سیستم استنتاج فازی عملکرد ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک

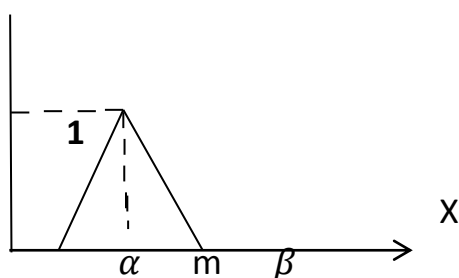
فازی سازی

در این مرحله متغیرهای کلامی فازی سازی می شوند. برای فازی سازی متغیرها از توابع مثلثی رابطه 1 استفاده شده است. شکل (1) نمایش اعداد مثلثی را در بازه (α و β) نشان می دهد.

رابطه (1) ضابطه تابع مثلثی

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x - \alpha}{m - \alpha} & \alpha < x < m \\ 1 & x = m \\ \frac{\beta - x}{\beta - m} & m < x < \beta \\ 0 & \text{others} \end{cases}$$

$\mu_A(x)$



شکل (1) نمایش اعداد مثلثی.

در این پژوهش، اعداد فازی مثلثی مربوط به هر متغیر کلامی با نماد (β و m و α) نشان داده می شود.

4-4-2 فازی سازی متغیرهای ورودی

برای فازی سازی معیارهای RPN سطح مدیریت ایمنی، سطح مدیریت ارشد، سطح کارگروهی، سطح فردی و سطح فرهنگی بر اساس جدول (6) از یک طیف 4 بازه ای استفاده شده است. اعداد فازی معادل معیارها به صورت جدول (8) در نظر گرفته شده است.

جدول (8) افراز بندی متغیرهای کلامی و عدد فازی معادل هر متغیر کلامی

سطح مدیریت ایمنی	سطح مدیریت ارشد	سطح کارگروهی	سطح فردی	سطح فرهنگی	عدد فازی ($\alpha \ m \ \beta$)
کم	کم	کم	کم	کم	(-10 1 100)
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	(1 100 200)
زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد	(100 200 279)
خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	(200 279 1000)

فازی سازی متغیر های خروجی

خروجی سیستم همانطور که بیان گردید نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک می باشد. اعداد فازی معادل متغیرهای زبانی خروجی با توجه به دامنه های موجود در جدول (9) که نمرات بر اساس افراد خبره تعیین شده به صورت جدول (10) در نظر گرفته شده است.

جدول (9) دامنه نمره ایمنی تعیین شده توسط افراد خبره

سطح ریسک	حدود اولویت ریسک RPN	دامنه نمره ایمنی
ریسک پایین - درجه 4	$1 \leq RPN \leq 100$	100-85
ریسک متوسط - درجه 3	$101 \leq RPN \leq 200$	85-65
ریسک بالا - درجه 2	$201 \leq RPN \leq 279$	65-45
	ریسک های با شدت اثر 8-10	
	ریسک های با احتمال وقوع 8-0	
ریسک فوق العاده شدید - درجه 1	$280 \leq RPN \leq 1000$	0-45

جدول (10) واژه های زبانی ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک

عدد فازی	نمره ایمنی
(-10 0 45)	خیلی نامطلوب
(0 45 65)	نامطلوب
(45 65 85)	مطلوب
(65 85 100)	خیلی مطلوب

همانطور که از جدول (10) مشخص است چهار بازه برای نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک با در نظر گرفتن رنج های موجود در جدول (9) در نظر گرفته شده است که برای افزایش دقت، آموزش و تربیت سیستم استنتاج فازی به ساخت قواعد IF-THEN می پردازیم.

4-5 ساخت قواعد IF-THEN

برای تربیت و آموزش سیستم استنتاج فازی و به جهت افزایش دقت سیستم با توجه به وجود 5 متغیر ورودی که هر کدام از آنها به چهار متغیر زبانی افراز بندی شدند در حالت ایده آل $4 \times 4 \times 4 \times 4 \times 4 = 1024$ قواعد نیاز می باشد که از آنجایی که ایمنی هیچ کارخانه ای در سطح خیلی نا مطلوب (نمره 0 تا 45) و یا سطح نا مطلوب (نمره 46 تا 50) نمی باشد از 70 قواعد IF-THEN به صورت جدول (11) در طراحی مدل سیستم استنتاج فازی استفاده شده است.

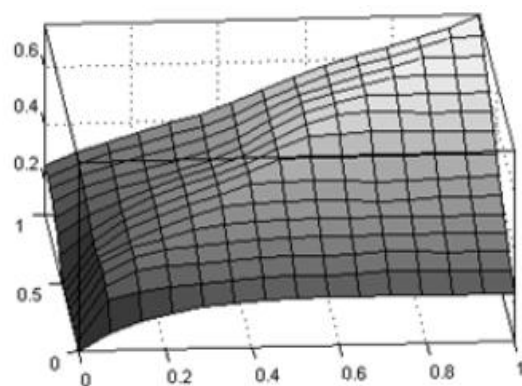
جدول (11) قواعد IF-THEN

ردیف	سطح مدیریت ایمنی (RPN)	سطح مدیریت ارشد (RPN)	سطح کار گروهی (RPN)	سطح فردی (RPN)	سطح فرهنگی (RPN)	نمره ایمنی
1	100	160	104	205	170	73.5
2	10	160	104	205	170	78
3	1000	160	104	205	170	30
4	2	50	200	270	50	81.5
5	10	300	800	150	5	50
6	300	500	170	80	300	48
7	100	200	400	800	10	43.5
8	85	201	45	90	700	59.5
9	220	30	650	5	110	64
10	1	1	1	1	1	100
11	1	55	1	90	280	88.75
12	450	180	65	990	278	32
13	50	5	10	75	100	93.5
14	101	279	26	350	8	75
15	800	15	1000	50	350	34.9
16	8	99	280	2	77	86.87
17	5	5	5	5	5	99.5
18	100	100	100	50	200	83.21
19	3	8	200	20	150	89
20	900	650	2	18	25	42.7
21	300	689	600	180	360	35.5
22	175	9	11	140	3	91.85
23	275	550	550	10	90	43.8
24	12.5	49.5	365.5	70	7.5	85
25	10	20	30	40	50	95.8
26	50	60	70	80	90	90
27	90	100	110	120	130	83.21
28	1000	800	600	400	200	25
29	500	100	50	10	5	78.6
30	8	20	1000	1	6.5	63.4
31	80	90	75	1000	1	54
32	60	35	24	13	500	79.5
33	68	98	74	199	5	87.4
34	202	270	65	160	99	74.02
35	210	210	210	210	210	62.9
36	300	300	300	300	300	44
37	50	50	50	50	50	93.2
38	175	175	175	175	175	70.85
39	50	150	250	250	650	48

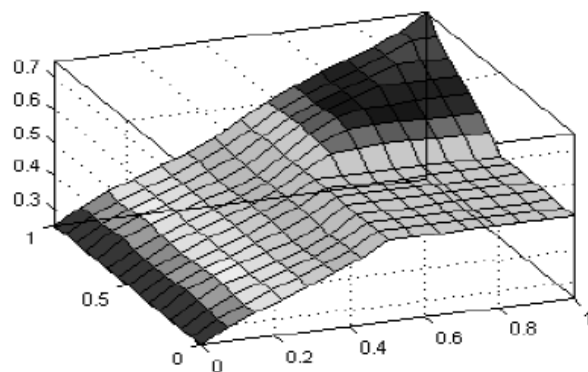
43	1000	280	201	101	1	40
69	320	260	210	90	30	41
0	1000	1000	1000	1000	1000	42
86	100	100	100	100	100	43
65.5	202	202	202	202	202	44
95.9	14	2	28	39	55	45
46	279	279	279	279	279	46
45	280	280	280	280	280	47
85	101	101	101	101	101	48
66	200	200	200	200	200	49
75.5	240	240	240	240	240	50
61	50	10	200	800	20	51
95	60	1	100	8	2	52
72.5	12	800	30	1	1	53
61.43	3	20	15	90	450	54
95.8	10	20	30	40	50	55
89.8	100	80	70	60	50	56
90.8	8	10	200	5	100	57
98.4	16	19	6	8	12	58
75.2	1	50	600	1	105	59
97	1	1	1	1	120	60
64.5	50	50	50	800	50	61
94	8	25	100	3	100	62
61.5	800	60	20	99	100	63
32.5	500	600	900	1	1	64
97.9	30	20	15	10	5	65
44	500	400	300	200	100	66
79.3	130	130	130	130	130	67
91.1	300	1	1	1	1	68
25	200	400	600	800	1000	69
78.9	5	100	50	350	150	70

همانطور که از جدول (11) مشخص است برای ردیف 1 اگر نمره RPN سطح مدیریت ایمنی 100 و اگر نمره RPN سطح مدیریت ارشد 160 و اگر نمره RPN سطح کارگروهی 104 و نمره RPN سطح فردی 205 و نمره RPN سطح فرهنگی 170 باشد آنگاه نمره ایمنی (بر اساس درون یابی از جدول 9) برابر 73.5 خواهد بود که مابقی قواعد هم به این صورت توسط افراد خبره ساخته شده است.

در این مرحله همچنین رفتار سیستم استنتاج بر اساس نمودارها نیز از طرف خبرگان بررسی شد تا از صحت قوانین تدوین شده اطمینان بیشتری حاصل گردد. نمودارهای رسم شده در شکل (2) و (3) رفتار ورودی های مختلف را بر اساس خروجی های مختلف را نشان می دهند.



شکل (2) نمره (رفتار) عملکرد ایمنی در ارتباط با دو ورودی معیار های سطح سازمانی و مدیریت ارشد



شکل (3) نمره (رفتار) عملکرد ایمنی در ارتباط با دو ورودی معیار های سطح فردی و کار گروهی

شکل (2)، در حالت سه بعدی رفتار دو ورودی، معیار های سطح سازمانی و سطح مدیریت ایمنی را در رابطه با عملکرد ایمنی سازمان نشان می دهد. بر اساس ادبیات تحقیق و مصاحبه های انجام گرفته هر گاه معیار های سطح سازمانی و معیار های سطح فردی افزایش یابد و به حد مناسب برسد، عملکرد ایمنی نیز در سازمان افزایش داشته و به

حالت مطلوب برسد، عملکرد ایمنی نیز در سازمان افزایش داشته و به حالت مطلوب نزدیک می شود. در شکل 5، دیده می شود که بر اساس قوانین تدوین شده، با افزایش دو بعد معیار های سطح سازمانی و سطح مدیریت ایمنی، عملکرد ایمنی نیز افزایش می یابد که این مطابق انتظارات ما می باشد. در شکل (3)، نیز رفتار دو متغیر دیگر یعنی معیار های سطح فردی و سطح کار گروهی در ارتباط با عملکرد ایمنی به منظور اطمینان بیشتر از صحت قوانین تدوین شده، بررسی شده، بررسی شده است. شکل (3) در حالت سه بعدی رفتار دو ورودی، معیار های کار گروهی و سطح فردی را در رابطه با عملکرد ایمنی سازمان نشان می دهد. در این شکل دیده می شود که بر اساس قوانین تدوین شده، با افزایش دو بعد معیار های کار گروهی و سطح فردی، عملکرد ایمنی نیز افزایش می یابد که این مطابق انتظارات ما می باشد. به منظور اطمینان بیشتر از اعتبار مدل، از تست تمام قوانین نیز به منظور اعتبار سنجی مدل استفاده شده است. در روش تست تمام قوانین ورودی های موتور استنتاج یک به یک به سیستم خبره مربوطه وارد شد. موتور استنتاج به ازای ورودی های هر قانون، خروجی متناظر با آن قانون را تولید کرد. خروجی به دست آمده از قانون با خروجی مورد انتظار مقایسه شد. منظور از خروجی مورد انتظار، خروجی است که بر اساس قوانین تدوین شده، انتظار داریم به دست آید. این خروجی همان است که در طرف دوم قوانین، به آن ها اشاره شده است. میانگین مجزورات خطای خروجی های به دست آمده از نرم افزار با خروجی های مورد انتظار محاسبه گردید. مجموع خطاها 0.00296 به دست آمد. با توجه به دیدگاه افراد خبره این مقدار خطا قابل اغماض است. خلاصه محاسبات مربوط به تست خطای موتور استنتاج با این روش در جدول (12)، نشان داده شده است.

$$SO^* = \text{نمره مورد انتظار بر اساس هر قانون خروجی نرم افزار به ازای هر ورودی}$$

جدول (12) خلاصه محاسبات مربوط به دقت موتور استنتاج نمره عملکرد ایمنی

شماره قانون	SO^*	SO	$\sqrt{(SO^* - SO)^2}$
1	73.5	73.42	0.08
2	78	77.92	0.08
3	30	30	0.08
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
69	25	25	0
70	78.9	78.82	0.08
جمع			0.00296

مدل سازی سیستم استنتاج فازی

آشنایی با مدل سازی توسط فازی

یک ساختار فازی که از مجموعه ای از قواعد IF-THEN تشکیل گردیده است می توان جهت مدلسازی و نگاشت داده های ورودی-خروجی استفاده کرد. تعریف معمولی از یک مسئله شناسایی تعیین یک تابع $\hat{f}$ می باشد بطوریکه تقریباً بتوان بجای تابع اصلی f مورد استفاده قرار گیرد. در نتیجه پیش بینی خروجی $\hat{y}$ به ازای ورودی $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ باید تا حد امکان به مقدار خروجی حقیقی y نزدیک باشد. حال یک مجموعه m تایی از داده های چند ورودی و یک خروجی بصورت رابطه زیر در نظر گرفته می شود:

رابطه (2):

$$y_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

حال می توان از روی این داده ها یک جدول برای آموزش سیستم فازی جهت تخمین مقادیر خروجی $\hat{y}_1$ به ازای بردار های ورودی $X = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ که:

رابطه (3):

$$\hat{y}_1 = \hat{f}(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

تشکیل داد. حال مسئله تعیین یک ساختار فازی جهت مینیم کردن تفاوت بین مقادیر خروجی و مقادیر پیش بینی شده می باشد و یا به عبارت دیگر:

رابطه (4):

$$\sum_{i=1}^m [\hat{f}(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}) - y_i]^2 \rightarrow \min$$

در این روش یک مجموعه قواعد IF-THEN جهت تقریب تابع f با $\hat{f}$ با استفاده از m بردار شامل n ورودی و تک خروجی $(X_i, Y_i), (i = 1, 2, \dots, m)$ طراحی می گردد. قواعد فازی تشکیل شده در مدل را می توان به راحتی به صورت زیر بیان نمود:

رابطه (5):

$$\text{Rule}_1 = \text{IF } x_1 \text{ is } A_1^{(j1)} \text{ AND } x_2 \text{ is } A_1^{(j2)} \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ is } A_1^{(jn)}, \text{ THEN } y = \sum_{i=1}^n w_i^1 x_i + w_0^1$$

که در آن $w^1 = \{w_1^1, w_2^1, \dots, w_n^1, w_0^1\}$ و $j_i \in \{1, 2, \dots, r\}$ مجموعه پارامترهای بخش تالی هر قاعده می باشد. تمامی مجموعه های فازی در فضای x_i بصورت زیر می باشد:

$$A^{(i)} = \{A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(3)}\} \quad \text{رابطه (6):}$$

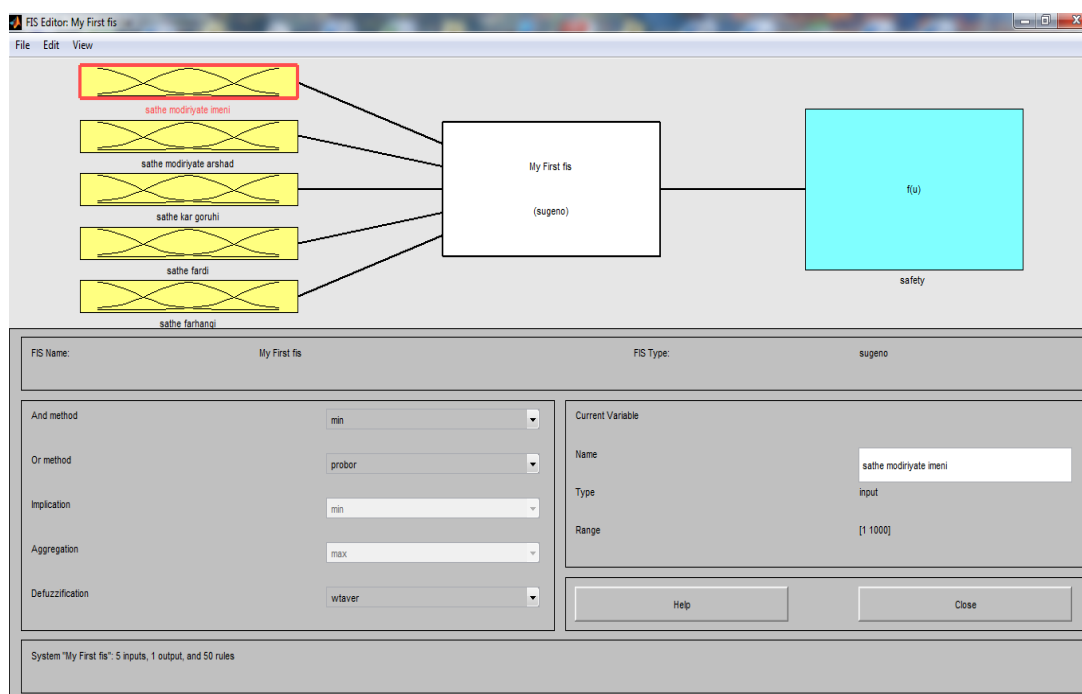
این مجموعه های فازی به صورت توابع عضویت مثلثی و تابع چند جمله ای نامتقارن باز از سمت چپ و راست در بازه $[-\alpha_i, +\beta_i]$ ($i = 1, 2, \dots, n$) در نظر گرفته می شود. در این حالت دامنه ها طوری تعیین می گردند که به ازای هر $A^{(j)}, x_i \in [-\alpha_i, +\beta_i]$ در رابطه (6) وجود داشته باشد که درجه تابع عضویت غیر صفر داشته باشد

در این قسمت برای طراحی سیستم استنتاج فازی از جعبه ابزار فازی در نرم افزار Matlab استفاده گردید که این روش را مورد بررسی قرار می دهیم.

طراحی مدل سیستم استنتاج فازی

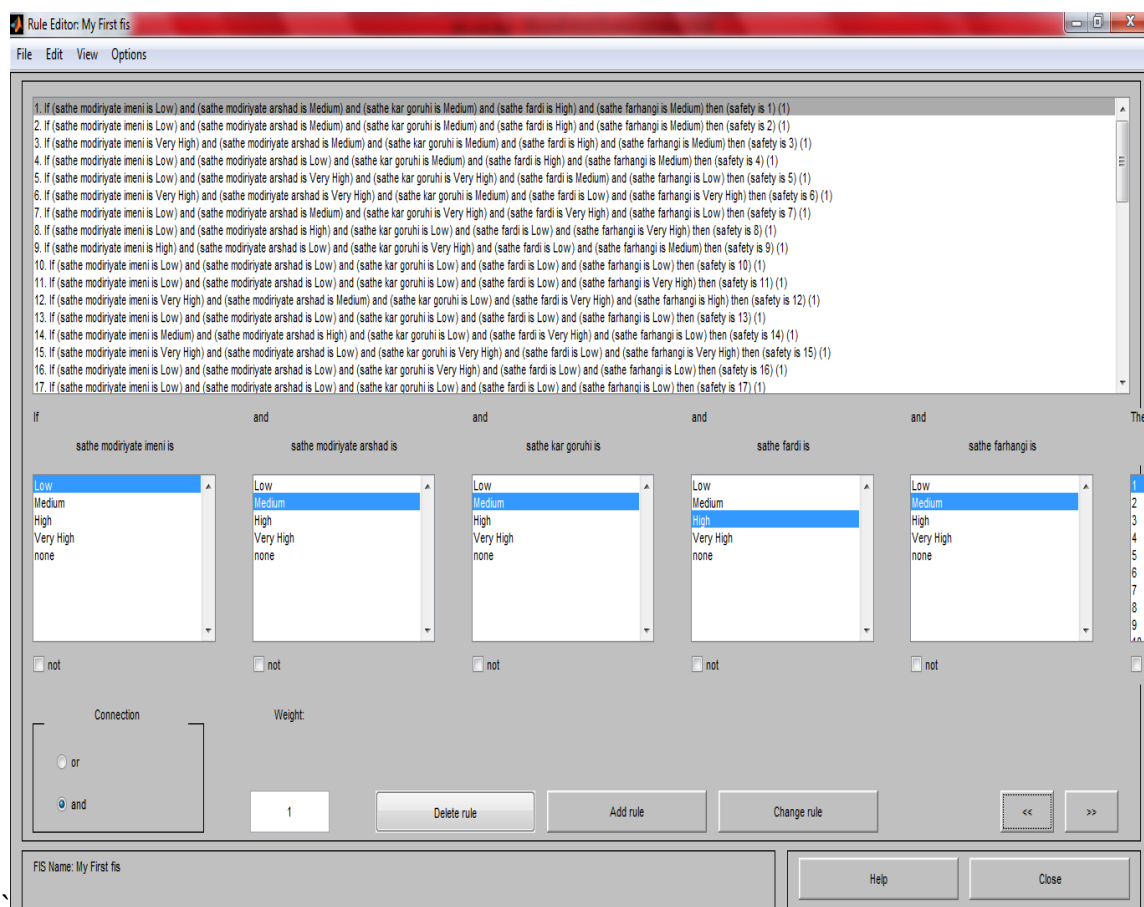
در طراحی سیستم استنتاج فازی از نرم افزار Matlab که در زمینه محاسبات عددی برتری خود را ثابت کرده و همچنین جهت طراحی از جعبه ابزار منطق فازی استفاده شده است. در طراحی از موتور استنتاج فازی نوع sugeno که به خاطر وابستگی خطی قوانین به ورودی های سیستم، روش sugeno به عنوان ناظر میانیاپ برای کنترل کننده های خطی چندگانه که در شرایط کاری مختلف سیستم های غیر خطی پویا کاربرد دارد و بسیار ایده آل است استفاده

شده است. سیستم دارای 5 ورودی که به ترتیب عبارت اند از: 1-سطح مدیریت ایمنی 2-سطح مدیریت ارشد 3-سطح کارگروهی 4-سطح فردی 5-سطح فرهنگی و دارای یک خروجی می باشد تشکیل شده است. برای تربیت و آموزش سیستم از 70 قواعد IF-THEN مطابق جدول (6) استفاده شده است. شکل های (4) و (5) ویرایشگر FIS ویرایشگر قانون در مدل سیستم استنتاج فازی تخمین نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک را نشان می دهد.



شکل (4) ویرایشگر FIS سیستم استنتاج فازی تخمین نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک

شکل (4) ویرایشگر FIS سیستم استنتاج فازی تخمین نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک در نرم افزار MATLAB می باشد که از 5 ورودی و یک خروجی تشکیل شده است را نشان می دهد.



شکل (5) ویرایشگر قانون و قواعد IF-THEN سیستم استنتاج فازی تخمین نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک

شکل (5) ویرایشگر قانون و قواعد IF-THEN سیستم استنتاج فازی تخمین نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک در نرم افزار متلب می باشد که در این قسمت 70 قواعد IF-THEN برای تربیت و آموزش سیستم ساخته شده است.

4-8- ساخت توابع عضویت ورودی ها

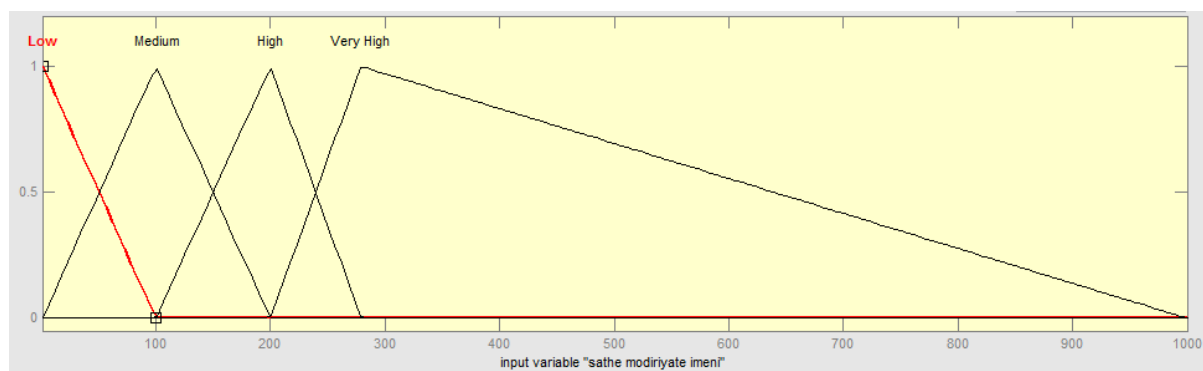
ویرایشگر توابع عضویت در نرم افزار متلب ابزاری است که اجازه می دهد برای سیستم استنتاج فازی، تمام توابع عضویت مربوط به ورودی ها را نمایش و ویرایش کنید. به همین دلیل برای هر ورودی چهار تابع عضویت در بازه ای در نظر گرفته شده که شامل توابع مثلثی است .

ساخت تابع عضویت سطح مدیریت ایمنی

به منظور ساخت تابع عضویت، تابع سطح مدیریت ایمنی در چهار بازه تعیین (جدول 13) و برای هر بازه تابع عضویت آن از نرم افزار Matlab بدست آمد. (شکل 6)

جدول (13) بازه تعیین شده برای تابع عضویت ورودی سطح مدیریت ایمنی

1-100	کم	سطح مدیریت ایمنی (RPN)
101-200	متوسط	
201-279	زیاد	
280-1000	خیلی زیاد	



شکل (6) تابع عضویت ورودی سطح مدیریت ایمنی در نرم افزار متلب

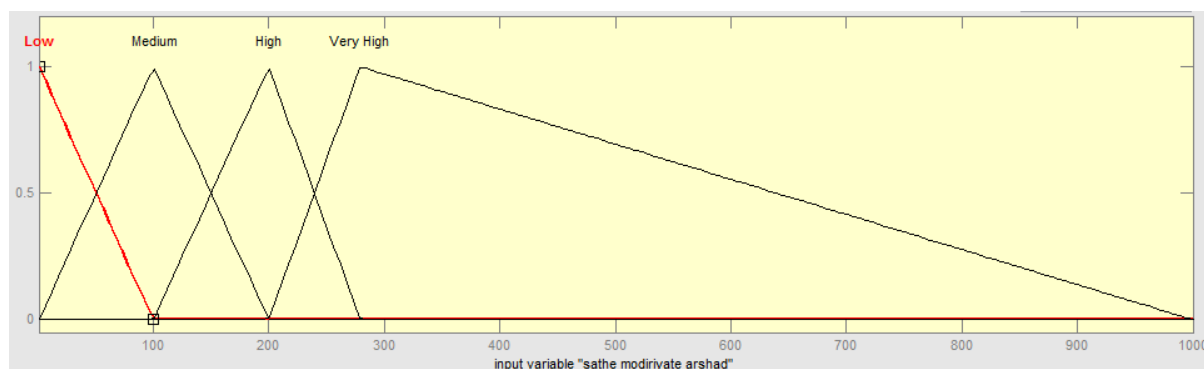
همانطور که از جدول (13) و شکل (6) مشخص می باشد، محدوده سطح مدیریت ایمنی از 1 تا 1000 قابل تغییر و تابع آن از نوع مثلثی می باشد.

ساخت تابع عضویت سطح مدیریت ارشد

به منظور ساخت تابع عضویت، تابع سطح مدیریت ارشد در چهار بازه تعیین (جدول 14) و برای هر بازه تابع عضویت آن از نرم افزار Matlab بدست آمد. (شکل 7)

جدول (14) بازه تعیین شده برای تابع عضویت ورودی سطح مدیریت ارشد

1-100	کم	سطح مدیریت ارشد (RPN)
101-200	متوسط	
201-279	زیاد	
280-1000	خیلی زیاد	



شکل (7) تابع عضویت ورودی سطح مدیریت ارشد در نرم افزار متلب

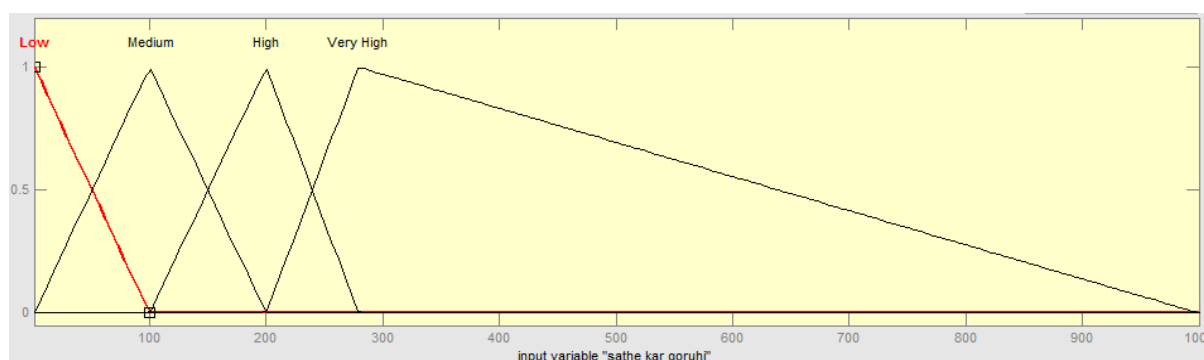
همانطور که از جدول (14) و شکل (7) مشخص می باشد، محدوده سطح مدیریت ارشد از 1 تا 1000 قابل تغییر و تابع آن از نوع مثلثی می باشد.

ساخت تابع عضویت سطح کار گروهی

به منظور ساخت تابع عضویت، تابع سطح کار گروهی در چهار بازه تعیین (جدول 15) و برای هر بازه تابع عضویت آن از نرم افزار Matlab بدست آمد. (شکل 8)

جدول (15) بازه تعیین شده برای تابع عضویت ورودی سطح کار گروهی

1-100	کم	سطح کار گروهی (RPN)
101-200	متوسط	
201-279	زیاد	
280-1000	خیلی زیاد	



شکل (8) تابع عضویت ورودی سطح کار گروهی در نرم افزار متلب

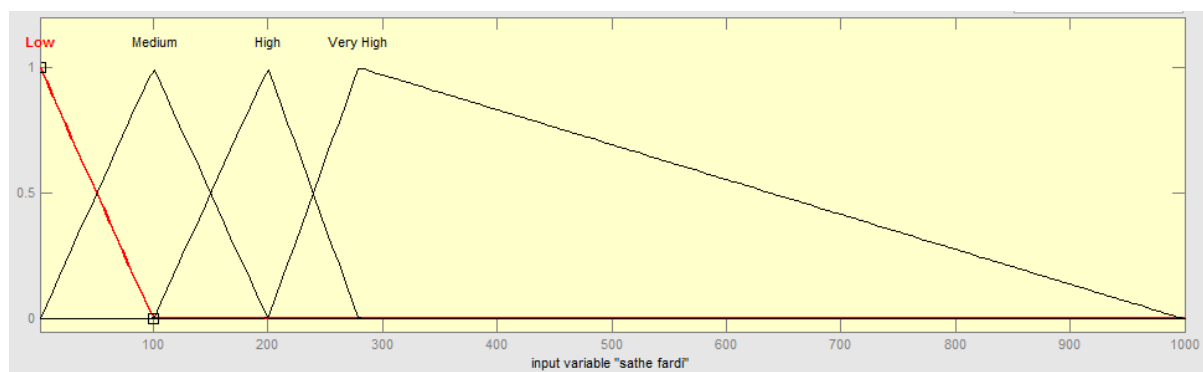
همانطور که از جدول (15) و شکل (8) مشخص می باشد، محدوده سطح کارگروهی از 1 تا 1000 قابل تغییر و تابع آن از نوع مثلثی می باشد.

ساخت تابع عضویت سطح فردی

به منظور ساخت تابع عضویت، تابع سطح فردی در چهار بازه تعیین (جدول 16) و برای هر بازه تابع عضویت آن از نرم افزار Matlab بدست آمد. (شکل 9)

جدول (16) بازه تعیین شده برای تابع عضویت ورودی سطح فردی

1-100	کم	سطح فردی (RPN)
101-200	متوسط	
201-279	زیاد	
280-1000	خیلی زیاد	



شکل (9) تابع عضویت ورودی سطح فردی در نرم افزار متلب

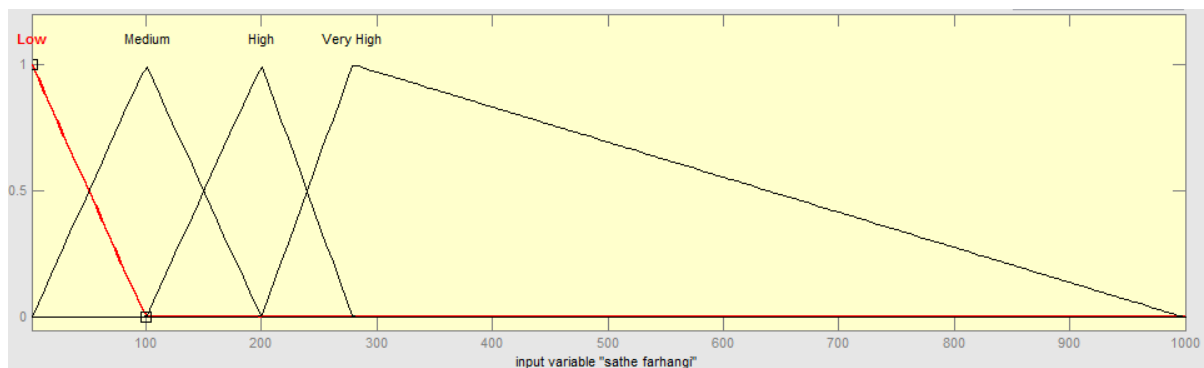
همانطور که از جدول (16) و شکل (9) مشخص می باشد، محدوده سطح فردی از 1 تا 1000 قابل تغییر و تابع آن از نوع مثلثی می باشد.

ساخت تابع عضویت سطح فرهنگی

به منظور ساخت تابع عضویت، تابع سطح فرهنگی در چهار بازه تعیین (جدول 17) و برای هر بازه تابع عضویت آن از نرم افزار Matlab بدست آمد. (شکل 10)

جدول (17) بازه تعیین شده برای تابع عضویت ورودی سطح فرهنگی

1-100	کم	سطح فرهنگی (RPN)
101-200	متوسط	
201-279	زیاد	
280-1000	خیلی زیاد	

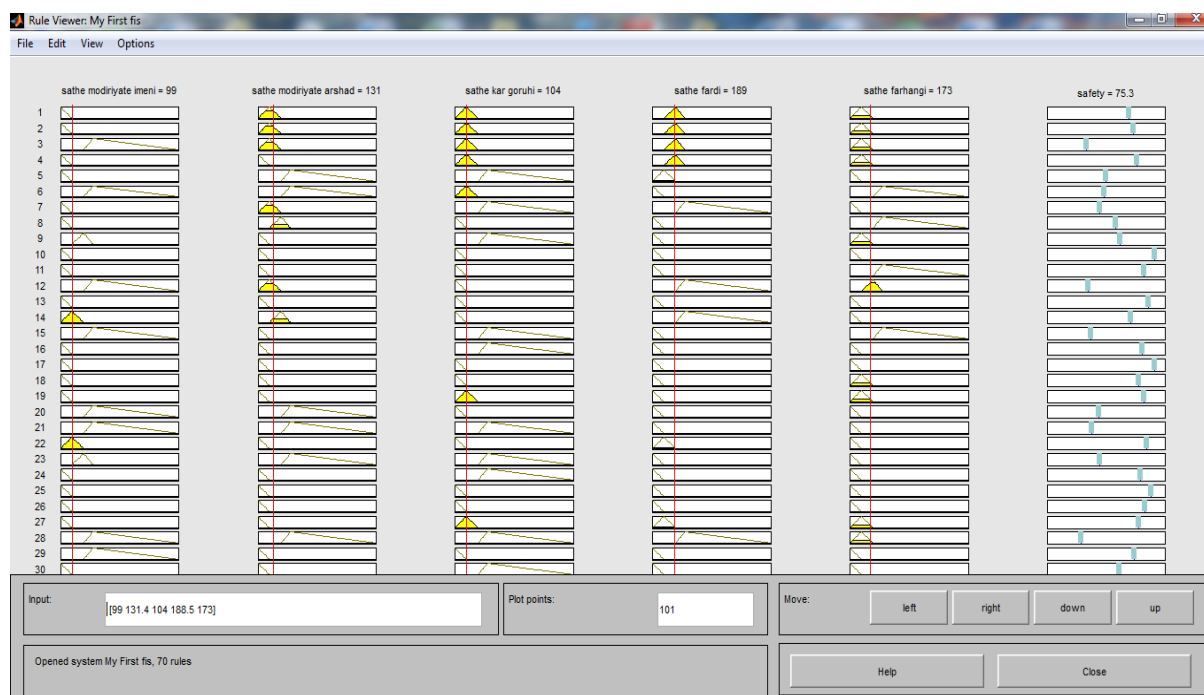


شکل (10) تابع عضویت ورودی سطح فرهنگی در نرم افزار متلب

همانطور که از جدول (17) و شکل (10) مشخص می باشد، محدوده سطح فرهنگی از 1 تا 1000 قابل تغییر و تابع آن از نوع مثلثی می باشد.

4-9- تحلیل مدل و بررسی نتایج

در مرحله آخر بعد از طراحی سیستم و تربیت و آموزش آن با قواعد IF-THEN با وارد کردن نمره RPN هر سطح که توسط FMEA محاسبه شد خروجی که همان نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک می باشد بدست می آید. (شکل 11)



شکل (11) نمایش خروجی سیستم استنتاج فازی

همانطور که از خروجی سیستم استنتاج فازی (شکل 11) مشخص است نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک با وارد کردن ورودی ها (نمره RPN سطح مدیریت ایمنی 99 و نمره RPN سطح مدیریت ارشد 131.4 و نمره RPN سطح کارگروهی 104 و نمره RPN سطح مدیریت فردی 188.5 و نمره RPN سطح فرهنگی 173) برابر 75.3 از نمره 100 می باشد.

نتیجه گیری

در این پژوهش از تمامی پارامترهای موثر سطوح مختلف سازمانی در ایمنی صنایع شامل: سطح مدیریت ایمنی، سطح مدیریت ارشد، سطح کارگروهی، سطح فردی و سطح فرهنگی استفاده شده است ولی اکثر پژوهش ها تنها منحصر به چند پارامتر بوده و یا از جامعیت و دقت بالا برخوردار نیستند، با توجه به این امر با استفاده از یک بانک اطلاعاتی جامع و به کمک FMEA و سیستم استنتاج فازی مدلی جهت تخمین نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک ارائه شد که بر این اساس نتایج زیر حاصل شده است:

1- بر اساس FMEA انجام شده (جدول 7) درجه سطح ریسک سطح فردی و سطح فرهنگی از سطح های سازمانی نسبت به سایر سطوح مختلف سازمانی دارای ریسک بالاتری بوده و می بایست توجه بیشتری به سطح های فردی و فرهنگی و فرهنگ سازی در خصوص آموزش و رعایت موارد ایمنی گردد.

2- نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک بر اساس نمره RPN سطح مدیریت ایمنی 99 و نمره RPN سطح مدیریت ارشد 131.4 و نمره RPN سطح کارگروهی 104 و نمره RPN سطح مدیریت فردی 188.5 و نمره RPN سطح فرهنگی 173 برابر 75.3 از نمره 100 و در سطح مطلوب می باشد.

3- یکی از عوامل موفقیت روش FMEA زمان اجرای آن است. این روش برای آن طرح ریزی شده که " یک اقدام از قبل واقعه باشد نه یک تمرین بعد از آشکار شدن مشکلات " به بیان دیگر یکی از تفاوت های اساس FMEA با سایر روش های کیفی این است که FMEA یک اقدام کنشی است نه واکنشی که با توجه به اهمیت این موضوع مطالعه موردی در این تحقیق مجموعه کارخانه ماشین سازی اراک است که با توجه به دلایل ذکر شده پروژه FMEA در این سازمان از اهمیت شایانی به منظور شناسایی ریسک ها و الویت بندی آنها برخوردار است و روش استنتاج فازی، فرایند فرموله کردن نگاشت ورودی داده شده به یک خروجی با استفاده از منطق فازی است. پس از آن، نگاشت یک مبنا از اینکه تصمیم ما چه می تواند باشد یا اینکه الگوی تصمیم گیری چه باشد برای ما مهیا می کند. در این تحقیق برای کاهش عدم قطعیت روش قطعی، از سیستم استنتاج فازی که روشی مناسب برای کار با داده های دارای عدم قطعیت است، استفاده شده و نمره ایمنی بهبود یافته است.

پیشنهادهای

1- از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت حذف مشکل یکسان بودن وزن های مربوط به ریسک فاکتور ها در روش سنتی FMEA استفاده شود.

2- با توجه به احتمال وقوع و کشف خطرهای ناشناخته شده با شدت های مختلف پیشنهاد می گردد هر 6 ماه یک بار نمره ایمنی کارخانه ماشین سازی اراک با تیم های متخصص و با توجه به استاندارد های روز دنیا به روش فوق محاسبه و ارزیابی گردد.

- [1] Hollnagel E, Woods DD. Joint cognitive systems: foundations of cognitive systems engineering: CRC press; 2005.
- [2] Hofmann DA, Stetzer A. CROSS-LEVEL INVESTIGATION OF FACTORS INFLUENCING UNSAFE BEHAVIORS AND ACCIDENTS. PERSONNEL PSYCHOLOGY. 1996;49(2):307-39.
- [3] Lee T, Harrison K. Assessing safety culture in nuclear power stations. safety Science. 2000;34(1):61-97
- [4] Zohr D. safety climate in industrial organizations: theoretical and applied implications. journal of applied psychology. 1980;65(1):96-102.
- [5] Cooper MD, Phillips RA. Exploratory analysis of the safety climate and safety behavior relationship. journal of safety research. 2004;35(5):497-512
- [6] Hsu SH, Lee C-C, Wu M-C, Takano K. A cross-cultural study of organizational factors on safety: Japanese vs. Taiwanese oil refinery plants. Accident analysis & prevention. 2008;40(1):24-34
- [7] Al-Refaie A. Factors affecting companies' safety performance in Jordan using structural equation modeling. safety Science. 2013;57:169-78.
- [8] Matila M, Hyttinen M, Rantanen E. Effective supervisory behaviour and safety at the building site. international journal of industrial ergonomics. 1994;13(2):85-93
- [9] Geller ES. Working safe: How to people actively care for health and safety. 2, editor: Boca Raton: CRC press; 2001.
- [10] Jafari MJ, Sadighzadeh A, Sarsangi V, Zaeri F, Yegani F. Safety Climate Survey in Iran's Uranium Mines in 2013. Journal of Safety Promotion and Injury Prevention. 2014;2(3):148-54.

- [11] Al-Refaie A. Factors affect companies' safety performance in Jordan using structural equation modeling. Safety Science. 2013;57:169-78.
- [12] Barling J, Zacharatos A, editors. High performance safety systems: Management practices for achieving optimal safety performance. 25th annual meeting of the Academy of Management, Toronto; 1999.
- [13] Adl J, Shokoohi Y, Kakooei H. Safety Climate as an Indicator to Evaluate the Performance of Occupational
- [14] Hajaghaazadeh M, Adl J, Zare M. Safety assessment by using Nordic occupational safety climate questionnaire in one of the commercial ports in 1389. tkj. 2014; 6 (1):17-28. Health and Safety Management System. j.health. 2012; 3 (1):32-40.
- [15] Oliver J. Continuous improvement: role of organisational learning mechanisms. International Journal of Quality and Reliability Management. 2009; 26 (6), 546–563.
- [16] Helmreich RL, Merritt AR. Culture at work in aviation and medicine: National, organizational and professional influences2001.
- [17] Geller Es. Ten Principles For Achieving A Total Safety Culture (Tsc). Professional Safety. 1994;39(9):18-24.
- [18] Mattila M, Hyttinen M, Rantanen E. Effective supervisory behaviour and safety at the building site. International Journal of Industrial Ergonomics. 1994;13(2):85-93.
- [19] Huang Y-H, Ho M, Smith GS, Chen PY. Safety climate and self-reported injury: Assessing the mediating role of employee safety control. Accident Analysis & Prevention. 2006;38(3):425-33.
- [20] Esabati M. Estimates of work-related accidents and diseases at the XIX world congress: safety and health at work. Bazar Kar Date Books 2011; 646:6 (Persian).

- [21] Mohamadfam L. Evaluation of occupational accidents and their related factors in Iranian Aluminum company in 1999. Sci J Kurdistan Univ Med Sci 2001; 5(3):18-23 (Persian).
- [22] Ergor OA, Demiral Y, Piyal YB. A significant outcome of work life: occupational accidents in a developing country, Turkey. J Occup Health 2003; 45(1):74-80.
- [23] Takala J. Introductory report: decent work–safe work. 17th World Congress on Safety and Health at Work, Vienna, Austria; 2002. P. 10.
- [24] Brauer RL. Safety and health for engineers: risk assessment and management. New Jersey: John Wiley and Sons; 2005.
- [25] Tiregar A, Kouhpaei A, Allahyari T, Alimohammadi I. Occupational health: occupational health programs. Tehran: Andisheh Rafi Publication; 2012 (Persian).
- [26] ISO 31000: Risk management--principles and guidelines. ISO. Available at: URL: [url:http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=43170](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=43170); 2015.
- [27] Potential failure mode and effects analysis (FMEA). 2nd ed. New York: Chrysler corporation, ford motor Company, general corporation; 1995.
- [28] Allahyari T. Hazardous analysis and risk assessment in chemical processes. Fanavaran Andisheh Pub 2005; 1:56-61 (Persian).
- [29] Arabian-Hoseynabadi H, Oraee H, Tavner PJ. Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines. Int J Electri Power Energy Sys 2010; 32(7):817-24(Persian).
- [30] Ashley L, Armitage G, Neary M, Hollingsworth G. A practical guide to failure mode and effects analysis in health care: making the most of the team and its meetings. Joint Commis J Qual Patient Saf 2010; 36(8):351-8.

- [31] Guimarães AC, Lapa CM. Fuzzy inference to risk assessment on nuclear engineering systems. Appl Soft Comput 2007; 7(1):17-28.
- [32] Spath PL. Using failure mode and effects analysis to improve patient safety. AORN J 2003; 78(1):15-37.
- [33] Alimohammadi H, Zare M, Ameli M, Akhoundi M. Modeling and risk assessment of oil production at refineries in the country with a vision insurance. Binesh 2013; 32:14 (Persian).
- [34] Society of Automobile Engineers. Recommended failure modes and effects analysis (FMEA) practices for non-automobile application. Warrendale: Society of Automotive Engineers; 2001.
- [35] Mode PF. Effects analysis in design (design FMEA) and potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly processes (process fmea) reference manual. New York: Society of Automotive Engineers, Surface Vehicle Recommended Practice; 2002.
- [36] Stamatis DH. Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution: ASQ Quality Press; 2003.
- [37] Arabian-Hoseynabadi H, Oraee H, Tavner P. Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2010;32 (7):817-24.
- [38] Carbone TA, Tippet DD. Project risk management using the project risk FMEA. Engineering Management Journal. 2004;16 (4):28-35.
- [39] Mir Mohammadi, T. Nasiri Pooya, Z. and Hossein Alipour, Z. (2016). Risk Factors Evaluation by FMEA Method at School Production Plant. Journal of Health Research in Society, Summer 2016; 2 (2): 9-19 .
- [40] Hopeful and powerful, F. (2017). Risk assessment using FMEA method based on multi criteria criteria (MCDM), fuzzy logic and gray theory. Case study of overhead cranes. Work safety and health , Spring 2017 Issue 1 Volume 7.
- [41] Beriha G.S,Patnaik B,Mahapatra S.S,padhee S.Assessment of safety performance in indian industries using fuzzy approach.expert systems with Applications 39(2012)3311-3323

- [42] Gurcanli, G. M., & Mungen, U. (2009). An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets. International Journal of Industrial Ergonomics, 39(2), 371–387.
- [43] McCauley-Bell, P., Crumpton-Young, L.L., & Badiru, A.B. (1999). Techniques and applications of fuzzy theory in quantifying risk levels in occupational injuries and illnesses. In Cornelius Leondes (Ed.), Fuzzy theory systems: Techniques and applications (pp. 223–265). Academic Press. doi:10.1016/B978-012443870-5.50012-5.
- [44] Sii, H. S., Ruxton, T., & Wang, J. (2001). A fuzzy logic-based approach to qualitative safety modeling for marine systems. Reliability Engineering and System Safety, 73(1), 19–34.
- [45] Zurada, J., Karwowski, W., & Marras, W. S. (1997). A neural network-based system for classification of industrial jobs with respect to risk of low back disorders due to work place design. Applied Ergonomics, 28(1), 49–58.
- [46] Ciarapica, F. E., & Giacchetta, G. (2009). Classification and prediction of occupational injury risk using soft computing techniques: An Italian study. Safety Science, 47(1), 36–49.
- [47] Azadeh, A., Fam, I. M., Khoshnoud, M., & Nikafrouz, M. (2008). Design and implementation of fuzzy expert system for performance assessment of an integrated health, safety, environment (HSE) and ergonomics system: The case of a gas refinery. Information Sciences, 178(22), 4280–4300.
- [48] Teo, E. A. L., & Linga, F. Y. Y. (2006). Developing a model to measure the effectiveness of safety management systems of construction sites. Building and Environment, 41(11), 1584–1592.
- [49] Dejoy, D. M., Gershon, R. R., & Schaffer, B. S. (2004). Safety climate: Assessing management and organization influences on safety. Professional Safety, 49(7), 50–57.
- [50] Brown, K. A., Willis, P. G., & Prussia, G. E. (2000). Predicting safe employee behavior in the steel industry: Development and test of a socio technical model. Journal of Operations Management, 18(4), 445–465.

- [51] Komaki, J., Barwick, K. D., & Scott, L. R. (1978). A behavioral approach to occupational safety: Pinpointing and reinforcing safe performance in a food manufacturing plant. Journal of Applied Psychology, 64(4), 434–445.
- [52] Komaki, J. D., Heinzman, A. T., & Lawson, L. (1980). Effect of training and feedback: Component analysis of a behavioral safety program. Journal of Applied Psychology, 65(3), 261–270.
- [53] Mohaghegh, Z., & Mosleh, A. (2009). Measurement techniques for organizational safety causal models: Characterization and suggestions for enhancements. Safety Science, 47(10), 1398–1409.
- [54] Lin, S. H., Tang, W. J., Miao, J. Y., Ming, Z., & Wang, P. X. (2008). Safety climate measurement at work place in China: A validity and reliability assessment. Safety Science, 46(7), 1037–1046.
- [55] Kuok Ho tang, D., Leiliabadi, F., Olugu, E. U., Zawiah binti Md Dawal, S. (2017). Factors affecting safety of processes in the Malaysian oil and gas industry. Safety Science, 92(2017)44–52
- [56] Ilbahar, E., Karasan, A., Cebi, S., Kahraman, C. A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system. Safety Science 103(2018)124–136
- [57] Gul, M., Celik, E., Akyuz, E., 2017. A hybrid risk-based approach for maritime applications: the case of ballast tank maintenance. Hum. Ecol. Risk Assess.: Int. J. 23 (6), 1389–1403.
- [58] Kokangül, A., Polat, U., Dağsuyu, C., 2017. A new approximation for risk assessment using the ahp and Fine Kinney methodologies. Saf. Sci. 91, 24–32.
- [59] Fang, D., Shen, Q., Wu, S., Liu, G., 2003. A comprehensive framework for assessing and selecting appropriate scaffolding based on analytic hierarchy process. J. Saf. Res. 34(5), 589–596.
- [60] Aminbakhsh, S., Gunduz, M., Sonmez, R., 2013. Safety risk assessment using analytic hierarchy process (ahp) during planning and budgeting of construction projects. J. Saf. Res. 46, 99–105.

- [61] Chan, A.H., Kwok, W., Duffy, V.G., 2004. Using ahp for determining priority in a safety management system. Ind. Manage. Data Syst. 104 (5), 430–445.
- [62] Podgórski, D., 2015. Measuring operational performance of osh management system—a demonstration of ahp-based selection of leading key performance indicators. Saf. Sci. 73, 146–166.
- [63] Zeng, J., An, M., Smith, N.J., 2007. Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. Int. J. Project Manage. 25 (6), 589–600.
- [64] Wang, Q., Wang, H., Qi, Z., 2016. An application of nonlinear fuzzy analytic hierarchy process in safety evaluation of coal mine. Saf. Sci. 86, 78–87.
- [65] Janackovic, G.L., Savic, S.M., Stankovic, M.S., 2013. Selection and ranking of occupational safety indicators based on fuzzy ahp: a case study in road construction companies: case study. South African J. Ind. Eng. 24 (3), 175–189.
- [66] Fera, M., Macchiaroli, R., 2010. Use of analytic hierarchy process and fire dynamics simulator to assess the fire protection systems in a tunnel on fire. Int. J. Risk Assess. Manage. 14 (6), 504–529.
- [67] Fera, M., Macchiaroli, R., 2010. Appraisal of a new risk assessment model for sme. Saf. Sci. 48 (10), 1361–1368.
- [68] Topuz, E., van Gestel, C.A., 2016. An approach for environmental risk assessment of engineered nanomaterials using Analytical Hierarchy Process (AHP) and fuzzy inference rules. Environ. Int. 92, 334–347.