ارزیابی ریسک تجهیزات واحد کلرزنی فاضلاب شهری با استفاده از FMEA سنتی و فازی (مطالعه موردی: تصفیه خانه فاضلاب شهری سهند)

سید شمس الدین علیزاده[۱]، یعقوب سلیمانزاده[۲]، سعید موسوی[۳]، غلامحسین صفری[۴*]

۱-گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

۳- گروه آمار واپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

۴*- نویسنده مسئول، مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

*ایمیل نویسنده مسئول: hsafari13@yahoo.com

تاریخ دریافت :۱۴۰۰/۰۲/۰۶ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۰/۰۴/۰۸

چکیده

FMEA یکی از روش‌های تجربه شده و بسیار مفید برای شناسایی، طبقه بندی، تجزیه و تحلیل خطاها و ارزیابی مخاطرات و ریسک های ناشی از آن‌ها است. این پژوهش با هدف شناسایی، ارزیابی، اولویت‌بندی و تحلیل ریسک‌های مرتبط با تجهیزات واحد گندزدایی فاضلاب شهری سهند با استفاده از روش FMEA سنتی و فازی انجام شد. پژوهش حاضر یک پژوهش تحلیلی- مقطعی است که در یک بازه زمانی حدود ۶ ماه به منظور اولویت بندی ریسک واحد کلرزنی در تصفیه خانه فاضلاب شهری سهند انجام گرفت. ابتدا تیمی ۵ نفره از کارشناسان و خبرگان تشکیل شد و کاربرگ FMEA سنتی تکمیل شد. سپس توابع عضویت فازی با توجه به نظرات متخصصین به وسیله برنامه متلب تعیین و شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف و نمره اولویت ریسک (RPN) به حالت فازی درآمدند و با توجه به خروجی‌های منطق فازی، ریسک ها اولویت بندی شد و اقدامات اصلاحی متناسب با نوع ریسک پیشنهاد گردید. در این پژوهش در مجموع ۲۸ حالت نقص برای تجهیزات واحد کلرزنی شناسایی شد. نتایج FMEA سنتی نشان داد که ۱۰۰٪ حالت نقض شناسایی شده در محدوده کم ریسک می‌باشد در حالی‌که بر اساس نتایج FMEA فازی، ۳/۶٪ در محدوده کم ریسک، ۸۵/۷٪ در محدوده ریسک متوسط و ۱۰/۷٪ در محدوده ریسک بالا قرار داشتند. با توجه به نتایج حاصله، ارزیابی ریسک با استفاده از FMEA فازی در مقایسه با FMEA سنتی دقیق‌تر و بهتری می‌باشد و استفاده از نظر خبرگان در ارزیابی ریسک با استفاده از FMEA فازی منجر به نتایج واقعی‌تر و همچنین اولویت‌بندی بهتر و واضح‌تر اقدامات اصلاحی می‌گردد.

کلمات کلیدی

"ارزیابی ریسک"، "تصفیه‌خانه فاضلاب"، "کلرزنی"، "سهند"، "FMEA فازی"

۱- مقدمه

مهمترین بخش از هر برنامه ایمنی و بهداشت و به عبارت کامل‌تر هر سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت، شناسایی خطرات می‌باشد. ابتدا باید خطرات را شناسایی نمود تا بتوان بر اساس آن راه مقابله و حذف خطر را پیشنهاد کرد و اهداف و برنامه‌های ایمنی بهداشت خود را تنظیم نمود، هرچه شناسایی خطر دقیق‌تر باشد سیستم مورد نظر عملکرد بهتری دارد (Tchankova 2002). بر طبق گزارش سازمان بین‌المللی کار روزانه ۵۰۰۰ نفر در جهان به علت حوادث و بیماری‌های ناشی از کار، جان خود را از دست می‌دهند و سالیانه چهار درصد تولید ناخالص داخلی آمریکا صرف هزینه های مستقیم و غیرمستقیم بیماری‌ها و حوادث ناشی ازکار می‌شود. لذا پیشگیری از حوادث ناشی از کار از نظر اجتماعی و اقتصادی دارای اهمیت خاصی است. کارشناسان ایمنی معتقدند بیش از ۸۰ درصد حوادث و بیماری‌های ناشی از کار با روش‌های ساده و کم هزینه قابل پیشگیری است (Hamalainen 2009). پیشگیری از بروز صدمات و حوادث بهداشتی، ایمنی و محیط زیست در راستای توسعه پایدار و افزایش بهره‌وری با در نظر گرفتن سلامت و ایمنی کارکنان، مشتریان، پیمانکاران و دیگر افراد مستلزم وجود ساختار سیستم مدیریت HSE است. HSE سیستمی است که به صورت یکپارچه و با همگرایی و چینش هم‌افزای نیروهای انسانی و امکانات و تجهیزات سعی در ایجاد محیطی سالم، دلپذیر و با نشاط و به دور از حادثه، خسارت و ضایعات دارد (Azadeh 2009). یکی از ارکان مهم مدیریتHSE ارزیابی و مدیریت ریسک می‌باشد. به طور مداوم سازمان باید ریسک‌های مرتبط با HSE را ارزیابی نمایند. همچنین به منظور شناسایی خطرات خاص، ارزیابی و کنترل ریسک‌ها تا سطح قابل قبول، فرآیندها و فعالیت‌ها بایستی مورد ارزیابی قرار گیرند. ارزیابی ریسک یک روش سازمان یافته و سیستماتیک برای شناسایی خطرات و برآورد ریسک برای رتبه‌بندی خطرات، جهت کاهش ریسک به یک سطح قابل قبول است. ارزیابی ریسک دارای روش‌های مختلف با طیفی از روش‌های کیفی تا کمی قابل انجام است (Jozi 2014).

روش‌های مختلفی برای شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک‌ها وجود دارند که می‌توان به PHA (آنالیز مقدماتی خطر) (Rausand 2005)، FMEA (تجزیه و تحلیل حالات خطا و اثرات ناشی از آن) (Chang 2010)، JSA (آنالیز ایمنی شغلی)(Rozenfeld 2010)، FTA (آنالیز درخت خطا) (Chen 2014) و ... اشاره نمودFMEA. یک ابزار نظام یافته، رویکردی ساختار یافته و از پایین به بالا و بر پایه کار گروهی است که در تعریف، شناسایی، پیشگیری، حذف یا کنترل حالات، علل و اثرات خطاهای بالقوه در یک سیستم خدماتی به کار گرفته می شود و پیش از آنکه خدمات نهایی به دست مشتری برسد، اجرا و مستند سازی این فعالیت ها را مدیریت می کند (مالکی ۲۰۱۰، Carlson 2014). تکنیک هایی مانند FMEA که با رویکرد

پیشگیرانه و بر پایه ی کار تیمی قابل اجراست، موجب افزایش دقت کارکنان و توجه بر نقاط ضعف حرفه ای بالقوه و تلاش برای از بین بردن آنها می شود (Yarmohammadian 2008). روش ارزیابی ریسک FMEA در تجزیه وتحلیل خطرات بسیار توانمند است به طوریکه برای از جلوگیری از وقوع حوادث از این روش در صنایع با سطح ریسک بالا مانند صنعت هوانوردی و نیروگاه اتمی استفاده می‌شود(Ashley 2010, Kolahdoozi 2017) هدف کلیدی FMEA شناسایی، ارزیابی و رتبه بندی حالات بالقوه شکست با استفاده از اعداد اولویت ریسک (RPN) است. در روش FMEAسنتی (متداول)، از عدد اولویت ریسک(RPN) برای محاسبه ریسک حالات مختلف شکست سیستم استفاده می شود که خود RPN از حاصلضرب سه ریسک فاکتور، احتمال وقوع(O) ، شدت پیامد (S) و قابلیت تشخیص (D) به دست می‌آید (Zareh Mehrjerdi 2018). بدیهی است هر چه مقدار RPN بالاتر باشد، میزان ریسک مرتبط با حالت شکست مد نظر نیز بیشتر می گردد. هدف از محاسبه RPN اولویت بندی حالت های شکست می باشد (Niu 2009, Chanamool 2016). تکنیک FMEA یکی از روش های پرکاربرد در ارزیابی و اولویت بندی ریسک می باشد؛ لیکن به دلایلی مانند در نظر گرفتن وزن های یکسان برای اهمیت نسبی ریسک فاکتورهای (شدت، احتمال و کشف)، کاربرد آن در عمل دچار محدودیت می‌باشد (Zhang 2013, Chang 2010, Liu 2011.) اصولا سامانه های آب و فاضلاب در معرض تهدیدات متنوعی قرار دارند. وقوع شکست ساختاری در واحدهای تصفیه فاضلاب، اغلب پیامدهای نامطلوبی بر افراد جامعه و محیط زیست مانند خروج پساب‌های تصفیه نشده حاوی انواع آلودگی‌های شیمیایی و بیولوژیکی از تصفیه‌خانه و ورود آنها به محیط زیست را به دنبال خواهد داشت که می‌تواند در سطح جامعه منجر به وقوع بحران-های جدی‌تری همچون شیوع بیماری‌های واگیردار گردد. از این رو شناسایی نقاط آسیب‌پذیر، تخمین احتمال وقوع حوادث نامطلوب و شدت اثرات ناشی از وقوع این حوادث در تصفیه خانه‌های فاضلاب به منظور تدوین و اجرای برنامه‌های مدیریت ریسک برای مدیران و تصمیم گیرندگان این زیر ساخت ها از اهمیت بالایی برخوردار است(Fytili 2008, Eggen 2014, Tabesh 2015). اکثر مطالعات انجام گرفته در مورد تجزیه و تحلیل ریسک زیر ساخت‌های آب و فاضلاب، مربوط به سامانه‌های آب بوده و واحدهای تصفیه فاضلاب به عنوان یک سامانه آبی مهم، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. همچنین مطالعات انجام شده در رابطه با تحلیل ریسک واحدهای تصفیه فاضلاب، بیشتر در رابطه با ارزیابی ریسک زیست-محیطی (ارزیابی ریسک شیمیایی و بیولوژیکی)، بررسی ریسک‌های ناشی از وجود آلاینده¬های خطرناک موجود در فاضلاب شهری و یا استفاده مجدد از پساب تصفیه شده و ریسک های ناشی از آن می باشد و ارزیابی و مدیریت ریسک تکنولوژیکی (ریسک هایی که باعث ایجاد شکست در عملکرد فنی سامانه می شوند) در تصفیه خانه های فاضلاب کمتر مورد بررسی قرار گرفته است (Tabesh 2015).

همچنین علاوه بر محدودیت‌های ذکر شده، برای روش FMEA سنتی، این رویکرد بیش از اندازه بر دقت تأکید دارد و تمام عوامل را به صورت قطعی در نظر می گیرد و از این جهت با سیستم¬های پیچیده و دنیای واقعی چندان سازگاری ندارد، ابنا بر این باید به دنبال ایجاد مدل‌هایی بود که ابهام را به عنوان بخشی از سیستم در نظر می‌گیرند (Valipour 2017). از این رو، به منظور برطرف نمودن محدودیت های روش FMEA سنتی در ارزیابی و اولویت بندی حالت های شکست، این پژوهش با هدف ارزیابی ریسک تجهیزات واحد کلرزنی تصفیه خانه فاضلاب شهری سهند با رویکرد FMEA فازی انجام شد.

۲- روش انجام تحقیق

• موقعیت جغرافیایی و مشخصات کلی تصفیه خانه فاضلاب شهری سهند

شهر جدید سهند در فاصله حدود۲۰ کیلومتری تبریز واقع شده است. تصفیه‌خانه فاضلاب شهری در زمینی به وسعت حدود ۷ هکتار با ارتفاع متوسط ۱۴۰۰ متر از سطح دریا احداث شده است. دسترسی به محل تصفیه‌خانه از حوالی کیلومتر ۲۰ اتوبان تبریز- آذرشهر با ۲ کیلومتر راه آسفالته فرعی روستای لاهیجان امکانپذیر می‌باشد. نقشه شماتیک تصفیه‌خانه فاضلاب شهر جدید سهند در شکل ۱ نشان داده شده است.

شکل ۱- نقشه شماتیک تصفیه‌خانه فاضلاب شهر جدید سهند

• روش پژوهش

مطالعه حاضر یک مطالعه تحلیلی- مقطعی است که به منظور اولویت بندی ریسک تجهیزات واحد کلرزنی در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری سهند با استفاده از تکنیک FMEA سنتی و فازی انجام گرفت. ابتدا تیمی ۵ نفره متشکل از مسئول تصفیه‌خانه، کارشناس آزمایشگاه و فرایند، مهندس بهره‌بردار، تعمیرکار و اپراتور سیستم تشکیل شد. داده‌های اصلی این مطالعه (فهرست تجهیزات و قطعات و حالت بالقوهٔ نقض در هر یک از قطعات) به صورت میدانی و از طریق مصاحبه با مهندسین بهره‌بردار، مهندسین آشنا با سیستم و تعمیرکاران جمع‌آوری و کاربرگ FMEA سنتی تکمیل شد. سپس از این داده‌ها به منظور تشکیل FMEA فازی و مدل سیستم استنتاج فازی استفاده شد. برای طراحی سیستم استنتاج فازی از نرم‌افزار متلب استفاده شد. به منظور پیاده‌سازی FMEA فازی از جعبه ابزار فازی نرم افزار MATLAB استفاده گردید. در این راستا نخست متغیرهای زبانی و تابع‌های عضویت فازی با نظر خبرگان و اعضای تیم FMEA تعریف و در مرحله بعد پایگاه قوانین اگر- آنگاه فازی تعریف و تشکیل گردید، سپس از موتور استنتاج ممدانی به دلیل دقت آن برای فازی سازی الگوریتم مرکز ثقل برای غیر فازی سازی استفاده شد استفاده شد. فلوچارت مراحل کلی این پژوهش در شکل ۲

نشان داده است. **تعیین شاخص‌های احتمال وقوع، قابلیت کشف یا ردیابی، شدت یا وخامت و عدد اولویت ریسک هر نقض** در این پژوهش ابتدا ارزیابی ریسک مرتبط با بهداشت، ایمنی و محیط زیست با استفاده از روش FMEA سنتی انجام گرفت. پس از بررسی منابع و مستندات و همچنین جمع‌آوری داده‌ها با روش‌های مختلف تعداد ۲۸ ریسک دارای اهمیت بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE) شناسایی و ثبت شدند. پس از انتقال داده‌های ریسک‌های شناسایی شده به کاربرگ مخصوص FMEA، با کمک اعضای تیم ستون‌های مربوط به حالت نقض، علت نقض، اثرات نقض و همچنین کنترل‌های موجود تکمیل گردیدند.. با استفاده از نظرهای کارشناسان و خبرگان و اعضای تیم FMEA به هر کدام از ریسک‌های شناسایی شده مقدار عددی متناسب با آنها از جدول ۱ انتخاب و در کاربرگ FMEA وارد و سپس با حاصل‌ضرب این ۳ شاخص مقدار عدد اولویت ریسک برای هر کدام از نقض‌ها محاسبه گردید. شاخص‌های احتمال وقوع، قابلیت کشف یا ردیابی و شدت یا وخامت رخدادها در ۱۰ رتبه به همراه عبارت‌های توصیفی در جدول ۱ ارائه شده است (Anes 2018, Jiang 2016, Liu 2017, Wang 2018).

شکل ۱- فلودیاگرام مراحل کلی این مطالعه

مراحل سیستم FMEA فازی

در این مرحله از پژوهش به منظور ایجاد مجموعه‌های فازی شاخص‌های شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف و عدد اولویت ریسک، هر چهار شاخص فوق بر اساس متغیرهای زبانی[1] و نظر خبرگان متخصص (۱۵ نفر) در این زمینه به سه بخش کم، متوسط و بالا تقسیم بندی شدند. سپس این تقسیم‌بندی‌ها وارد نرم‌افزار متلب گردیده و توابع عضویت هر چهار فاکتور بدست آمدند. سپس پایگاه قواعد اگر- آنگاه فازی را برای سه شاخص شدت، احتمال وقوع و احتمال کشف به عنوان ورودی و RPN به عنوان خروجی تعریف و الگوریتم ممدانی را به عنوان موتور استنتاج فازی و الگوریتم مرکز ثقل را به عنوان دیفازی‌ساز تعریف و در نهایت اقدام به فازی سازی ریسک‌های شناسایی شده در کاربرگ FMEA سنتی گردید. نتایج حاصل از نظر خواهی خبرگان برای رتبه بندی RPN در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- توصیف شاخص‌های شدت، احتمال وقوع و قابلیت کشف ۱۰ رتبه‌ای در روش FMEA سنتی

رتبه	شدت پیامد (S)	احتمال وقوع (O)	قابلیت کشف یا ردیابی (D)
۱۰	خطرناک ـ بدون هشدار	فوق‌العاده زیاد (≤ ۱ در ۲)	مطلقاً هیچ
۹	خطرناک ـ با هشدار	خیلی زیاد (۱ در ۳)	خیلی ناچیز
۸	شدید	زیاد (۱ در ۸)	ناچیز
۷	زیاد	زیاد (۱ در ۲۰)	خیلی کم
۶	قابل‌توجه	متوسط (۱ در ۸۰)	کم
۵	متوسط	متوسط (۱ در ۴۰۰)	متوسط
۴	کم	متوسط (۱ در ۲۰۰۰)	نسبتاً زیاد
۳	ناچیز	کم (۱ در ۱۵۰۰۰)	زیاد
۲	خیلی ناچیز	کم (۱ در ۱۵۰۰۰۰)	خیلی زیاد
۱	هیچ	بعید (۱ در ۱۵۰۰۰۰۰)	تقریباً حتمی

جدول ۲- رتبه‌بندی RPN فازی بر اساس نظر خبرگان

RPN	سطح ریسک
۱-۳۰۰	کم
۳۰۱-۶۰۰	متوسط
۶۰۱-۱۰۰۰	بالا

۳- نتایج

ارزیابی ریسک واحد کلرزنی

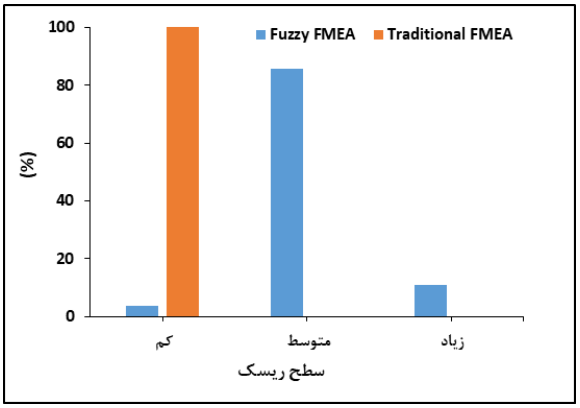
نتایج حاصل از ارزیابی ریسک واحد کلرزنی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج حاصله حاکی از شناسایی ۲۸ حالت نقص در تجهیزات واحد کلرزنی بود. بر اساس FMEA سنتی، کل ۲۸ حالت نقص شناسایی شده در دامنه ریسک کم قرار داشتند در حالیکه بر اساس FMEA فازی از ۲۸ حالت نقص شناسایی شده، ۱ حالت نقص (خرابی شیر برق قسمت دوش‌های ساختمان کلرزنی) در دامنه سطح ریسک کم و ۲۴ حالت نقص در دامنه ریسک متوسط و ۳ حالت نقص (شکستگی لوله گاز کلر، شل شدن پیچ اتصال لوله‌ها و خرابی سنسورکلرزنی) در دامنه سطح ریسک بالا قرار داشتند (شکل ۳). حالت‌های نقص مربوط به شکستگی لوله گاز کلر، شل شدن پیچ اتصال لوله‌ها، و خرابی سنسورکلرزنی با عدد RPN فازی و (سنتی) به ترتیب ۸۷۵ (۷۲)، ۸۷۵ (۵۴) و ۸۷۵ (۵۴) دارای بالاترین سطح ریسک و حالت نقص مربوط به خرابی شیر برق قسمت دوش‌های ساختمان کلرزنی با عدد RPN فازی و سنتی به

[1]- linguistic terms

ترتیب ۲۱ و ۱۲۴ دارای کمترین سطح ریسک در واحد کلرزنی می‌باشند.

جدول ۳- ارزیابی ریسک HSE واحد کلرزنی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری

ردیف	حالت نقص	RPN سنتی	RPN فازی
۱	شل شدن پیچ اتصال لوله‌ها	۵۴	۸۷۵
۲	شکستگی لوله گاز کلر	۷۲	۸۷۵
۳	خرابی سنسور کلرزنی	۵۴	۸۷۵
۴	خرابی غلتک پایه‌های جرثقیل سقفی	۴۰	۵۰۰
۵	هرز شدن پیچ‌های جرثقیل سقفی	۱۲	۵۰۰
۶	باز شدن قلاب حمل بار جرثقیل سقفی	۱۸	۵۰۰
۷	سوختگی موتور جرثقیل سقفی	۲۸	۵۰۰
۸	شکستگی محل چفت شدن موتور به شفت جرثقیل سقفی	۲۷	۵۰۰
۹	از کار افتادن قسمت کنترل کننده دستی جرثقیل سقفی	۱۴	۵۰۰
۱۰	خوردگی ریل‌های نگهدارنده سیم برق جرثقیل سقفی	۱۴	۵۰۰
۱۱	بریدگی زنجیر جرثقیل سقفی	۵۴	۸۷۵
۱۲	هرزشدگی پیچ وصل لوله به شیر تغذیه	۲۷	۵۰۰
۱۳	سوراخ شدگی لوله انتقال گاز کلر از کپسول به لوله انتقال	۳۶	۵۰۰
۱۵	خرابی شیر تغذیه لوله	۴۲	۵۰۰
۱۶	شکستگی فشارسنج	۱۴	۵۰۰
۱۷	خرابی قطعه فشارسنج	۲۸	۵۰۰
۱۸	شکستگی فشار شکن	۲۸	۵۰۰
۱۹	خرابی قطعه فشار شکن	۴۲	۵۰۰
۲۰	خرابی کپسول گرمایشی کلر	۹۶	۵۰۰
۲۱	سوراخ شدگی کپسول گرمایشی کلر	۵۴	۵۰۰
۲۲	خرابی شیر برق	۴۸	۵۰۰
۲۳	خرابی هیتر	۲۸	۵۰۰
۲۴	شکستگی قرص سنسور نشتی گاز کلر	۳۶	۵۰۰
۲۵	گرفتگی سردوش‌های ساختمان کلرزنی	۱۲	۵۰۰
۲۶	سوختگی دینام تهویه	۲۴	۵۰۰
۲۷	خرابی قطعه دینام تهویه	۳۶	۵۰۰
۲۸	خرابی شیر برق قسمت دوش‌های	۲۱	۱۲۴



شکل ۳- ارزیابی سطح ریسک نقض‌های موجود بر اساس FMEA سنتی و فازی در واحد کلرزنی

این نتایج نشان داد که خروجی‌های FMEA فازی خیلی متفاوت نسبت به خروجی‌های غیر FMEA سنتی هستند. چون FMEA فازی سطح ریسک نقص‌ها را در سه سطح کم، متوسط و بالا بیان می‌کند در حایکه FMEA سنتی تنها قادر به ارائه سطوح ریسک نقض‌ها در دو سطح کم و متوسط می‌باشد. این امر بیانگر آن است که تقسیم‌بندی سطوح ریسک نقص‌ها در FMEA فازی بهتر و دقیق‌تر از FMEA سنتی می‌باشد. مطالعه Sharma و همکاران (Sharma 2005) در سال ۲۰۰۵ جهت کمک به تحلیلگران سیستم ایمنی و قابلیت اطمینان، برای انجام اولویت‌بندی شکست در FMEA و انجام اقدامات اصلاحی با استفاده از ترکیب منطق فازی و دانش تخصصی نشان داد که تقسیم‌بندی حالات شکست در فازی بهتر و دقیق‌تر و اولویت‌بندی اقدامات اصلاحی نیز دقیق‌تر صورت می‌گیرد. به عنوان مثال حالت نقض مربوط به شکستگی لوله گاز کلر، در FMEA سنتی با عدد RPN برابر با ۷۲ در دامنه ریسک کم قرار می‌گیرد در حالیکه در FMEA فازی با عدد RPN برابر با ۸۷۵ در دامنه سطوح ریسک بالا قرار می‌گیرد. دلیل این امر اینست که در FMEA فازی عدد RPN بدست آمده در درجه اول به دلیل داشتن رتبه شدت پیامد بالا (۹) و همچنین رتبه احتمال وقوع متوسط (۴) می‌باشد. در این پژوهش بر اساس نظر خبرگان در FMEA فازی شدت پیامد نسبت به دو شاخص احتمال وقوع و قابلیت کشف اهمیت خیلی بیشتری دارد و بیشترین تاثیر را در سطوح ریسک مرتبط با نقض‌ها دارد. از طرفی تاثیر شاخص احتمال وقوع نیز در مقایسه با شاخص قابلیت کشف بیشتر است. در FMEA فازی حالت نقض مربوط به شکستگی لوله گاز کلر و سوراخ شدگی لوله گاز کلر به ترتیب با RPN برابر ۸۷۵ و ۵۰۰ در دامنه سطوح ریسک بالا و ریسک متوسط قرار می‌گیرند در حالیکه هر دو حالت نقض دارای رتبه شدت پیامد (۹) و همچنین رتبه قابلیت کشف (۲) یکسانی هستند و تنها تفاوت این دو حالت نقض در رتبه احتمال وقوع می‌باشد. حالت نقض مربوط به شکستگی لوله گاز کلر دارای رتبه احتمال وقوع متوسط (۴) و حالت نقض مربوط به سوراخ شدگی لوله گاز کلر دارای رتبه احتمال وقوع بسیار ناچیز (۲) می‌باشد. این مثال به خوبی اهمیت بیشتر شاخص احتمال وقوع نسبت به شاخص احتمال کشف در سطوح ریسک را نشان می‌دهد.

٤- نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف شناسایی، ارزیابی، اولویت‌بندی و تجزیه و تحلیل ریسک‌های مرتبط با تجهیزات واحد کلرزنی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری سهند با استفاده از روش FMEA فازی انجام شد. در FMEAسنتی حالت‌های نقض بالقوه، توسط ریسک فاکتورهایی (شدت پیامد، احتمال وقوع و قابلیت کشف) مورد ارزیابی قرار می گیرد و عدد اولویت ریسک (RPN) از حاصل‌ضرب مقادیر این ریسک فاکتورها به دست می آید. با این حال، RPN سنتی به دلیل نادیده گرفتن اهمیت نسبی و عدم قطعیت در میان عوامل ریسک از کارایی کمتری برخوردار می باشد. در این پژوهش از روشی استفاده شد تا بتواند مشکالت موجود در FMEA سنتی را مرتفع نموده و یک توالی منطقی برای اولویت بندی ریسک ارایه نماید. در روش روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی فازی، هر سه ریسک فاکتور بر اساس متغییرهای زبانی و نظر خبرگان وزن دهی می‌شوند. از این رو، از روشFMEA فازی جهت حذف مشکل یکسان بودن وزن‌های مربوط به ریسک فاکتورها در روش سنتی استفاده شد. نتایج حاصله حاکی از آن بود که داده‌های حاصل از ارزیابی ریسک با استفاده از FMEA فازی در مقایسه با FMEA سنتی دقیق‌تر و بهتر می‌باشد. استفاده از نظر خبرگان در ارزیابی ریسک با استفاده از FMEA فازی منجر به نتایج واقعی‌تر و همچنین اولویت‌بندی بهتر و واضح‌تر اقدامات اصلاحی می-گردد. بطور کلی نتایج این مطالعه نشان داد، که روش FMEA فازی توانایی اولویت بندی بهتر ریسک‌ها و حذف محدودیت‌های ذکر در روش FMEA سنتی را دارا می‌باشد.

منابع

- تابش،م.، بدلی باوانی، ا.، عسگریان، م.، روزبهانی، ع.، ۱۳۹۳. تدوین الگوریتمی برای تحلیل و مدیریت ریسک تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، تحقیقات منابع آب ایران. دوره ۱۰، شماره ۳، ص ۵۳-۶۵.
- کلاهدوزی، م.، حلوانی، غ.، ۱۳۹۵. بررسی ارتباط بین اقدامات کنترلی اولویت‌بندی شده و کاهش سطح ریسک در یکی از کارخانه‌های روغن خوراکی تهران، طب کار، دوره ۸، شماره ۴، ص ۴۷-۵۷.
- ملکی، ع.، ظهور ع.، عبادی فردآذر، ف.، رضایی، ک.، عبادیان م.، ۱۳۸۹. طراحی و مدل سازی یک ساختار یکپارچه QFD\FMEA در مراکز خدمات درمانی، نشریه پایش، دوره ۹ شماره ۲، ص ۱۱۷-۱۳۰.
- ولی پورخطیر، م.، قاسم نیاعربی، ن.، ۱۳۹۵. مدل سازی سیستم استنتاج فازی برای ارزیابی ریسک های بالقوه در تجهیزات پزشکی، مدیریت صنعتی (دانش مدیریت)، دوره ۸ شماره ۴، ص ۵۳۳-۵۵۴.
- یارمحمدیان، م.ح.، توفیقی، ش.، سقائیان نژاد اصفهانی، س.، ناصری بوری آبادی، ط.، ۱۳۸۶. خطرات احتمالی فرایندهای بخش مدارک پزشکی بیمارستان الزهرا، مدیریت اطلاعات سلامت، دوره ۴، شماره ۱، ص ۵۱-۵۹.
- Anes V, Henriques E, Freitas M, Reis L. 2018. A new risk prioritization model for failure mode and effects analysis. Quality and Reliability Engineering International, 34(4):516-28.
- Azadeh A, Fam IM, Nouri J, Azadeh MA. 2008. Integrated health, safety, environment and ergonomics management system (HSEE-MS): An efficient substitution for conventional HSE-MS.
- Carlson CS.2014. Understanding and applying the fundamentals of FMEAs. InAnnual Reliability and Maintainability Symposium, Vol. 10, pp. 1-35.
- Chanamool N, Naenna T. 2016. Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department. Applied Soft Computing, 43:441-53.
- Chang K-H, Cheng C-H, Chang Y-C. 2010. Reprioritization of failures in a silane supply system using an intuitionistic fuzzy set ranking technique. Soft Computing, 14(3):285.
- Chang K-H, Cheng C-H. 2010. A risk assessment methodology using intuitionistic fuzzy set in FMEA. International Journal of Systems Science, 41(12):1457-71.
- Chen Z, Wu X, Qin J. 2014. Risk assessment of an oxygen-enhanced combustor using a structural model based on the FMEA and fuzzy fault tree. Journal of Loss Prevention in the Process industries, 32:349-57.
- Eggen RI, Hollender J, Joss A, Schärer M, Stamm C. 2014. Reducing the discharge of micropollutants in the aquatic environment: the benefits of upgrading wastewater treatment plants. ACS Publications.
- Fytili D, Zabaniotou A. 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods—a review. Renewable and sustainable energy reviews, 12(1):116-40.
- Hamalainen P, Saarela KL, Takala J. 2009. Global trend according to estimated number of occupational accidents and fatal work-related diseases at region and country level. Journal of safety research, 40(2):125-39.
- Jiang W, Xie C, Wei B, Zhou D. 2016. A modified method for risk evaluation in failure modes and effects analysis of aircraft turbine rotor blades. Advances in Mechanical Engineering, 8(4):1687814016644579.

- Jozi S, Jafarzadeh Haghighi Fard N. 2014. Afzali Behbahani N. Hazard identification and risk assessment of high voltage power lines in residential areas using failure modes and effects analysis (FMEA). Iranian Journal of Health and Environment, 7(1):55-64.
- Liu H, Deng X, Jiang W. 2017. Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy measure and fuzzy integral. Symmetry, 9(8):162.
- Liu H-C, Liu L, Bian Q-H, Lin Q-L, Dong N, Xu P-C. 2011. Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. Expert Systems with Applications, 3815-4403:(4).
- Niu Y-M, He Y-Z, Li J-H, Zhao X-J, editors. 2009. The optimization of RPN criticality analysis method in FMECA. Apperceiving Computing and Intelligence Analysis, 2009 ICACIA 2009 International Conference on; IEEE.
- Rausand M. 2005. Preliminary hazard analysis. Norwegian University of Science and Technology.
- Rozenfeld O, Sacks R, Rosenfeld Y, Baum H. 2010. Construction job safety analysis. Safety science, 48(4):491-8.
- Sharma RK, Kumar D, Kumar P. 2005. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. International Journal of Quality & Reliability Management.
- Tchankova L. 2002. Risk identification–basic stage in risk management. Environmental management and health, 13(3):290-7.
- Wang W, Liu X, Qin Y, Fu Y. 2018. A risk evaluation and prioritization method for FMEA with prospect theory and Choquet integral. Safety science, 110:152-63.
- Xiao N, Huang H-Z, Li Y, He L, Jin T. 2011. Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA. Engineering Failure Analysis, 18(4):1162-70.
- Ashley L, Armitage G, Neary M, Hollingsworth G. 2010. A practical guide to failure mode and effects analysis in health care: Making the most of the team and its meetings. The Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety, 36(8): 351-8.
- Zare Mehrjerdi Y.2018. Systems Risk Analysis UsingHierarchical Modeling. Journal of Quality Engineering and Production Optimization, 3(1):27-42.
- Zhang X, Jin F, Liu P. 2013. A grey relational projection method for multi-attribute decision making based on intuitionistic trapezoidal fuzzy number. Applied Mathematical Modelling, 37(5):3467-77.

Risk assessment of municipal wastewater chlorination unit equipment using traditional and fuzzy FMEA: a case study

Seyed Shamseddin Alizadeh[1], Yaeghoub Soleimanzadeh[2], Saeid Mosavi[3], Gholam Hossein Safari[4,*]

1- Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering,, School of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

2- MSc., Student Research Committee, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Statistics and Epidemiology, School of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

*4- Assistant Professor, Health and Environment Research Center, School of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran.

*Email Address: hsafari13@yahoo.com

Abstract

FMEA is one of the experienced and very useful methods for identifying, classifying, analyzing faults, and assessing the risks arising from them. This study aims to identify, evaluate, prioritize, and analyze the risks associated with the equipment of Sahand municipal wastewater disinfection unit using traditional and fuzzy FMEA method.The present study is a cross-sectional analytical study that was conducted in a period of about 6 months. First, a team of 5 experts was formed and the traditional FMEA worksheet was completed. Then the fuzzy functions were determined by the MATLAB program according to the opinions of experts and the severity, probability of occurrence, and probability of detection and risk priority number (RPN) became fuzzy. According to the fuzzy logic outputs, the risks were prioritized and corrective measures were proposed according to the type of risk.In this study, a total of 28 faults were identified for chlorination unit equipment. The traditional FMEA results showed that a total of 28 faults (100%) identified for the equipment of the Sahand municipal wastewater chlorination unit is in the low-risk range. While according to the results of fuzzy FMEA, one fault (3.6%) is in the low-risk range, 24 faults (85.7%) are in the medium-risk range and 3 faults (10.7%) are in the high-risk range. The results of the risk assessment of the chlorination unit of Sahand municipal wastewater treatment plant using fuzzy FMEA are more accurate and better compared to traditional FMEA. Using experts' opinions in risk assessment using fuzzy FMEA leads to more realistic results as well as better and clearer prioritization of corrective actions.

Introduction

The wastewater treatment plant, as one of the most important urban infrastructures, recycles water and nutrients from wastewater collected from residential, commercial, and industrial units. The occurrence of structural failure in wastewater treatment plants will often have adverse consequences, such as the discharge of untreated effluents containing various chemical and biological contaminants from the treatment plant and their entry into the environment. This event could lead to a more serious crisis in society, such as the spread of infectious diseases. Therefore, identifying failures, estimating the likelihood of adverse incidents, and the severity of the effects in wastewater treatment plants are very important to develop and implement risk management programs. There are several methods for identifying hazards and assessing risks, which can be referred to as PHA (Preliminary Risk Analysis), FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), JSA (Job Safety Analysis), and FTA (Fault Tree Analysis).FMEA is one of the most important methods in systems safety engineering, which has been developed based on reliability engineering. Using this method, various types of faults can be identified and corrective actions can be suggested to improve the reliability and safety of systems, processes, and products. However, the application of traditional FMEA in practice is limited. Therefore, to overcome the limitations of the traditional FMEA method in evaluating and prioritizing failure modes, this study was conducted to evaluate the risk of the chlorination unit equipment of Sahand city municipal wastewater treatment plant with a fuzzy FMEA approach.

Methodology

The present study is a cross-sectional analytical study that was conducted to prioritize the risk of chlorination unit equipment in Sahand municipal wastewater treatment plant using traditional and fuzzy FMEA method. First, a 5-member team consisted of the treatment plant manager, laboratory and process expert, operating engineer, a repairman, and a system operator. The data of this study

(list of equipment and parts and potential state of faults in each part) were gathered in the field through interviews with operating engineers, engineers familiar with the system, repairmen, and traditional FMEA worksheets were completed. Then these data were used to form a fuzzy FMEA and a fuzzy inference system model. MATLAB software was used to design the fuzzy inference system. In order to implement fuzzy FMEA, the fuzzy toolbox of MATLAB software was used. In this regard, first, language variables and fuzzy membership functions were defined with the opinion of experts and members of the FMEA team. In the next step, the if-then fuzzy rule database was defined and formed. Then the field inference engine was used for de-fuzzification. In this study, the risks related to health, safety, and environment were assessed using the traditional FMEA method. After reviewing the documents as well as collecting data by different methods, 28 risks of health, safety, and environment (HSE) were identified and recorded. After transferring the identified risk data to the FMEA-specific worksheet, the team members completed the columns related to the fault mode, the cause of the fault, the effects of the fault, as well as the existing controls. Using the opinions of experts and members of the FMEA team, for each of the identified risks, a numerical value appropriate to them is selected from table 1 and entered in the FMEA worksheet, and then multiplied by these 3 indicators, the risk priority number calculated for each fault. An example of a completed worksheet of the traditional FMEA method is also provided in table 2. to create fuzzy sets of indicators of severity, probability of occurrence, and detection and risk priority number, all four of the above indicators based on linguistic variables and experts opinion (15 people) were divided into three parts: low, medium and high (table 2).According to the traditional FMEA, a total of 28 identified faults were in the low-risk range, while according to the fuzzy FMEA, out of identified 28 faults, 1 fault was in the low-risk level range, 24 faults were in the medium-risk range and 3 faults were in the high-risk level range (Figure 3). According to the traditional FMEA results, the highest and lowest risk levels were related to the failure of the chlorine heating capsule and the leakage of the overhead crane bolts, as well as the failure of the solenoid valve of the shower section with RPN 96 and RPN 12 respectively. Also, according to the fuzzy FMEA results, the highest and lowest risk levels were related to loose pipe connection screw, chlorine gas pipe fracture and chlorination sensor failure, and solenoid valve failure of chlorination unit showers with RPN 875 and RPN 124 respectively (Table 3).

Conclusion

The results of the risk assessment of the chlorination unit of Sahand municipal wastewater treatment plant using fuzzy FMEA are more accurate and better compared to traditional FMEA. Using experts' opinions in risk assessment using fuzzy FMEA leads to more realistic results as well as better and clearer prioritization of corrective actions. Overall, the results of this study showed that the fuzzy FMEA method has the ability to overcome the limitations of traditional FMEA and better prioritize the identified risks.

Keywords

"Risk Assessment", "Wastewater Treatment Plant", "Chlorination", "Fuzzy FMEA"