

شناسایی و ارزیابی عوامل مؤثر بر ریسک انتشار گاز منوکسیدکربن در ساختمان‌های مسکونی

استان اصفهان با تلفیق روشهای ردیابی انرژی و منطق فازی

سید محمد موسوی ریزی^۱، رضا مداحی^{۲*}، فرهام امین شرعی^۳

۱- گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

۲- نویسنده مسئول، گروه ریاضی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

۳- گروه مدیریت محیط زیست، ایمنی بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: رضا مداحی R.maddahi@pco.iaun.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۰۱

چکیده

رشد نگران کننده آمار مسمومیت با گاز منوکسیدکربن، طی سال‌های اخیر در استان اصفهان، وضعیت نامطلوبی از ایمنی ساختمان‌های مسکونی در قبال استفاده از سیستم تولید انرژی حرارتی را نشان می‌دهد که در تضاد با اهداف مقررات ملی ساختمان است، فرآیند تولید انرژی حرارتی با استفاده از گاز طبیعی در ساختمان‌ها، تابع انرژی‌های موجود در اجزاء سیستم مورد استفاده است. رهایش یا تبدیل ناخواسته این انرژی‌ها به یکدیگر باعث رخداد حوادث مسمومیت ناشی از انتشار و افزایش غلظت منواکسیدکربن برای اهداف آنها می‌شود، بنابراین پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۷ با هدف شناسایی و مدیریت ریسک‌های مؤثر با استفاده از روش ET&BA انجام شد که یک ابزار مناسب برای شناسایی خطاها از طریق ردیابی انرژی‌های موجود در آن است. برای تخصیص امکان ریسک‌ها از متغیرهای کلامی خبرگان در محیط فازی استفاده شد. نتایج نشان داد، انرژی جنبشی از مهم‌ترین انرژی‌های سیستم است و خطاهای انسانی در دوره بهره برداری بیشترین عوامل افزایش مخاطرات می‌باشند. ناتوانی حواس انسانی در تشخیص گاز منوکسیدکربن منتشر شده، با امکان ۸۷/۷ درصد، مهم‌ترین ریسک مؤثر است. بنابراین استفاده از دستگاه آشکارساز و هشدار دهنده منوکسیدکربن در ساختمان‌ها، ارائه آموزش‌های گسترده برای بهره‌برداران از طریق رسانه ملی و اجرایی شدن مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان به عنوان حفاظ توصیه شد.

کلمات کلیدی

"ردیابی انرژی"، "منطق فازی"، "ارزیابی ریسک"، "گاز منوکسیدکربن"

Identification and evaluation of effective risk factors of carbon Monoxide emissions in residential buildings in Isfahan province by integrating energy tracking methods and fuzzy logic

¹Sayed Mohamad Mousavi Rizi, ^{2*}Reza Madahi, ³Farham Amin Shari

*2. Corresponding Author, Department of Mathematics, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Email Address: R.maddahi@pco.iaun.ac.ir

Abstract

Tremendous growth of carbon monoxide poisoning statistics in recent years in Isfahan province shows the unfavorable condition of residential buildings for the use of thermal energy production system, which contradicts the objectives of national building regulations. The process of producing thermal energy using natural gas in buildings is subject to the energy contained in the system components. The unintended release or conversion of these energies into each other is due to the occurrence of emissions and increased carbon monoxide concentrations purposes. Thus, the present study was conducted in 1977 with the aim of identifying and managing effective risks using the ET & BA method which is a suitable tool for identifying errors by tracking the energies in it. Experts' verbal variables in the fuzzy environment were used to allocate the risks. The results showed that kinetic energy is one of the most important energies of the system and human errors during operation are the most risk factors. The inability of human senses to detect carbon monoxide emissions, is the most important stakes, the use of carbon monoxide detectors and alarms, extensive training for users through medias and implementation of 22 national building regulations were recommended as safeguards.

Keywords

"Energy tracking", "Fuzzy logic", "Risk assessment", "Carbon Monoxide"

۱- مقدمه

جلوگیری شود. به طور کلی، دلایل وقوع حوادث در منابع تولید کننده ریسک‌ها نهفته است. با توجه به نتایج تحقیق مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، در استان‌های با آب و هوای سرد (کویری و کوهستانی)، با توجه به استفاده بیشتر از سوخت‌های فسیلی، نرخ مرگ و میر در اثر مسمومیت با گاز مونواکسیدکربن بالاتر است (فرزانه ویسی و همکاران، ۱۳۹۲). از طرف دیگر، گاز مونواکسیدکربن حاصل احتراق ناقص است، که اگر هوای کافی در دسترس نباشد و شعله به صورت کامل و یکنواخت تشکیل نشود، در آن صورت در دماهای پایین، مونواکسیدکربن فرصت اکسید شدن و تبدیل شدن به دی‌اکسید کربن را پیدا نمی‌کند و از فرایند واکنش خود را آزاد می‌کند. نرسیدن اکسیژن کافی به شعله، عدم تهویه کافی، و وجود موانع در مسیر خروج محصولات احتراق عوامل اصلی ایجاد گاز مونواکسیدکربن در وسایل گازسوز محسوب می‌شوند که جان انسان‌ها را تا حد مرگ به خطر می‌اندازد (حیدری، ۱۳۹۰). بر این اساس، منبع مولد ریسک‌های مؤثر در تولید و انتشار گاز مونواکسیدکربن در ساختمان‌های مسکونی، سیستم‌های تأمین حرارت با سوخت‌های فسیلی می‌باشند. از آنجایی که در ساختمان‌های مسکونی برای تأمین انرژی حرارتی از سیستم‌های متنوعی استفاده می‌شود، برای شناسایی نرخ استفاده از این سیستم‌ها در کشور، به نتایج آخرین تحقیقات مرکز آمار ایران، در خصوص مصرف حامل‌های انرژی مراجعه شد. نتایج نشان داد تا پایان سال ۱۳۹۵، از مجموع ۱۸/۱۲ میلیون خانوارهای شهری کشور ۱۷/۷۵ میلیون (۹۸ درصد) حداقل یکی از وسایل و امکانات گرمایشی مانند شوفاژ، فن کوئل، پکیج، اسپیلیت، بخاری‌گازی یا نفتی را در واحد خود برای فصول سرد سال (با متوسط ۱۵ ساعت در شبانه‌روز) استفاده می‌کنند. از بین تجهیزات گرمایشی، بخاری‌گازی با ۷۵/۱ درصد و آب‌گرم‌کن گازی با ۸۱/۸ درصد بیشترین سهم کاربرد را دارند، بر اساس نتایج این گزارش، در سال ۱۳۹۵ تعداد کل واحدهای مسکونی شهری در استان اصفهان ۱/۳۸۵/۴۴۲ واحد اعلام شده است که (۱۰۰٪) آن‌ها از گاز طبیعی بهره‌مند می‌باشند (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۶).

۱-۲- اهداف مقررات ملی ساختمان در تأمین ایمنی ساختمان‌ها:

از جمله مسائل مهم در رسیدن به شرایط مطلوب ایمنی و بهداشت محیط زیست، احداث ساختمان‌های متناسب با استانداردهای ایمنی می‌باشد. طبق تعریف رثوف و دهلیون، ایمنی عبارت است از حفاظت از زندگی و اثر بخشی انسانها و پیشگیری از وارد شدن آسیب به مواد و تجهیزاتی که در رفع نیازهای انسان دخیل است (پروفیسور رثوف و دهلیون، ۱۳۹۰). توجه به تأمین ایمنی در چرخه عمر ساختمان‌ها از اهداف قوانین ساخت و ساز در ایران می‌باشد، بر همین اساس تدوین مجموعه مقررات ملی ساختمان، بر عهده وزارت خانه راه و شهرسازی قرار دارد. بر اساس تعریف مندرج در ماده ۳۳ قانون نظام مهندسی و کنترل ساختمان، این مقررات عبارت است از: مجموعه اصول و قواعد فنی و ترتیب کنترل آن‌ها که باید در طراحی، محاسبه، اجراء بهره‌برداری و نگهداری ساختمان در جهت تأمین ایمنی، بهداشت، بهره‌دهی مناسب، آسایش، صرفه اقتصادی، حفاظت محیط زیست، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و حفظ سرمایه‌های ملی بایستی رعایت شود. در ماده ۳۴ همین قانون بر الزام رعایت مفاد

رویداد نامطلوب نشت و افزایش غلظت گاز مونواکسیدکربن در ساختمان‌های مسکونی، هر ساله حوادث ناخوش‌آیندی را در سطح کشور رقم می‌زند که به مرگ خاموش شهرت دارند. گاز مونواکسیدکربن بسیار سمی و خطرناک است. نسبت میل ترکیبی آن، با هموگلوبین خون ۲۳۰-۲۷۰ برابر اکسیژن است و در نهایت، رسیدن اکسیژن به بافتها را مختل می‌کند و ارگان‌هایی مانند قلب و مغز که مصرف بالای اکسیژن دارند سریعاً در پی مسمومیت دچار مشکل می‌شوند (ترابی، ۱۳۹۴). بررسی گزارشات سازمان پزشکی قانونی از تلفات حوادث مرگ خاموش در فضاهای بسته در کشور نشان داد، از ابتدای سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶، تعداد این تلفات در هر سال بین ۶۲۶ تا ۸۳۶ مرگ در نوسان بوده است و استان اصفهان طی این سال‌ها، رتبه دوم تا چهارم را از کل تلفات دارد (سازمان پزشکی قانونی ایران، ۱۳۹۷). گزارشات مأموریت‌های ارجاع شده به مرکز مدیریت حوادث و فوریت‌های پزشکی استان اصفهان، تأیید می‌کند که تعداد این مسمومیت‌ها در سال ۱۳۹۵ نسبت به ۱۳۹۴ افزایش داشته است و تعداد مسمومیت‌ها نسبت به تعداد کشته‌شدگان بسیار بیشتر است (مرکز مدیریت حوادث و فوریت‌های پزشکی اصفهان، ۱۳۹۵). این مسمومیت‌ها می‌تواند باعث ایجاد آسیب‌های قلبی و مرگ و میر دراز مدت نجات یافته‌گان شود. همچنین این بیماران دچار ضعف درازمدت هستند (Christopher R Henry, 2006). روابط عمومی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی در سال ۱۳۹۲، تحقیقی را در رابطه با حوادث مسمومیت با مونواکسیدکربن در کشور انجام داد، نتایج این پژوهش نشان داد، استان‌های خراسان رضوی، آذربایجان شرقی و اصفهان رتبه‌های اول تا سوم در این نوع از مرگ و میرها را دارند. نکته مهمی که باید به آن توجه داشت این است که تعداد فوت شدگان در اثر مسمومیت با گاز مونواکسیدکربن نسبت به تعداد کل مصدومین رقم اندکی است. همچنین، فراوانی مرگ‌های ناشی از این مسمومیت‌ها (به ازاء هر صد هزار نفر)، از ۸/۴ نفر در سال ۱۳۸۰، به ۲۶ نفر در سال ۱۳۸۹ رسیده است و این حرکت صعودی افزایش مرگ و میر در دهه ۹۰ همچنان ادامه دارد (فرزانه ویسی و همکاران، ۱۳۹۲). در پژوهشی مشابه فراوانی مرگ و میر ناشی از مسمومیت CO در محیط‌های بسته در ایالات متحده آمریکا، در طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۲ بررسی شد. نتایج نشان داد در هر سال به طور متوسط ۴۳۸ مرگ اتفاق افتاده است. این تعداد معادل ۱/۴۸ مرگ به ازاء هر یک میلیون نفر تخمین زده شد (Am J Emerg Med, 2015). مقایسه اخیر مؤید آن است که، ایمنی ساختمان‌های مسکونی کشور و بخصوص استان اصفهان، در برابر انتشار گاز مونواکسیدکربن به طرف مصرف کننده، آسیب‌پذیر است و بایستی برای تأمین امنیت و آسایش ساکنین گام برداشت.

۲- زمینه و هدف:

مرور مطالعات و تحقیقات گذشته در رابطه با حوادث انتشار گاز مونواکسیدکربن در فضاهای مسکونی نشان داد، این پژوهش‌ها ریسک‌های عوامل بوجود آورنده انتشار گاز مونواکسیدکربن به سمت مصرف کننده را در نظر نگرفته‌اند. جهت پیشگیری از وقوع حوادث، ابتدا باید دلایل آنها را بررسی و پردازش نمود تا از تکرار حوادث مشابه

اگر...» است که در مسیر جریان انرژی مطرح می‌شوند (امین‌شرعی و قنبری، ۱۳۸۸). اریکسن^۲ در سال ۲۰۰۵ طی مطالعه‌ای روش ET&BA را بعنوان یک روش مناسب برای شناسایی خطر معرفی نمود. در این پژوهش اشاره شده است که در این روش چهار پارامتر در هر سیستم مورد ارزیابی، مد نظر قرار می‌گیرند که عبارت هستند از: منبع یا منابع انرژی در سیستم، متناسب بودن موانع موجود در مسیر انرژی‌ها، تعامل عامل انسانی با سیستم و اهداف نهایی انرژی ناخواسته یا کنترل نشده (اهداف نهایی ممکن است افراد یا اشیا باشند، جهت اطمینان از شناسایی تمامی انرژی‌های بالقوه خطرناک موجود، علاوه بر چک لیست انرژی، از منابع دیگری نظیر مصاحبه با متخصصین فرآیند، بررسی دستورالعمل‌های کاری، مدارک فنی دستگاه‌ها، اسناد عملیاتی، چیدمان تجهیزات، مدارک واحد نگهداری و تعمیرات، برگه‌های حوادث و پرونده‌های پزشکی کارگران، آمار حوادث در صنایع مشابه و منابع معتبر علمی استفاده شد (Ericson, 2005). تحقیق زراوشانی و همکاران پنج مرحله برای ارزیابی ریسک از طریق ردیابی انرژی معرفی می‌کند: ۱- شناسایی خطرات بالقوه یا انرژی موجود در سیستم، ۲- ردیابی مسیر انرژی‌ها در سیستم و تعیین اهداف بالقوه در معرض تماس ۳- شناسایی و ارزیابی موانع و حفاظ‌های موجود، ۴- ارزیابی ریسک ناشی از آزاد شدن انرژی در سیستم، ۵- ارایه راه‌کارهای کنترلی (Zaroushani, 2010)

۴- استفاده از نظر خبرگان در محیط فازی:

در انواع پژوهش‌های ارزیابی ریسک برای شناسایی ریسک‌ها و همچنین تهیه بانک اطلاعاتی در زمانی که اطلاعات و آمار در دسترس نمی‌باشد استفاده از نظر خبرگان متداول است. در تحقیق نورمی^۳ ۱۹۸۱ خبره به کسی گفته می‌شود که اطلاعات کافی از سیستم مورد ارزیابی داشته و با روش آنالیز درخت خطا آشنا باشد، برای تعیین تعداد خبرگان و انتخاب کارشناسان، در پژوهش‌ها خبرگان با دو دسته همگون و ناهمگون تقسیم شده و چنین نتیجه‌گیری شده‌است که یافته‌های حاصل از گروه ناهمگون از ارزش بالاتری برخوردار است (Nurmi, H, 1981). در پژوهش سمیه بهبهانی و همکاران، خبره به فردی اطلاق می‌گردد که دارای حداقل هفت سال سابقه کار در صنعت فولاد سازی بوده و با مفهوم ریسک و ایمنی آشنایی کامل داشته باشد (میرزا و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از مهمترین مسائل موجود در فرایند ارزیابی ریسک از طریق استفاده از نظر خبرگان، وجود پارامترهای غیرقطعی در پاسخ‌های کارشناسان است. در این ارتباط، Yaqiong و همکاران در سال ۲۰۱۱ پیرو مطالعات خود در رابطه با ارزیابی ریسک ایمنی، استفاده از محیط‌های فازی را پیشنهاد نمودند (Yaqiong, 2011). منطق فازی و روش ارزیابی ریسک TOPSIS در تحقیق سمیه بهبهانی و همکاران، با هدف اولویت‌بندی ریسک‌های موجود در واحد فولادسازی شرکت گروه ملی صنعتی فولاد ایران، مورد استفاده قرار گرفت آنها قسمتی از کاربرد را به تعیین سطح یا میزانی از خطر که براساس پتانسیل واقعی یا درک‌شده منجر به صدمه، جراحت و یا خسارت اهداف سیستم می‌شود و به‌عنوان

مجموعه مقررات ملی برای ساختمان‌ها تاکید شده است (جهانگیر، ۱۳۹۵). سیستم‌های تأسیسات مکانیکی تأمین حرارت و گرمایش، از جمله اجزاء یک ساختمان است که طی چرخه عمر سیستم (طراحی، اجراء و بهره‌برداری)، مشمول اهداف تأمین ایمنی از طریق اجراء مقررات ملی ساختمان قرار دارد. بطور کلی ایمنی یعنی اینکه اطمینان داشته باشیم سیستم برای تمام افراد، محیط و تجهیزات بی‌خطر است. به همین منظور از آنالیزهای مهندسی ایمنی سیستم جهت درک صحیح عوامل بوجود آورنده خطر و چگونگی کنترل آنها استفاده می‌شود و ارزیابی ریسک اطلاعات لازم را فراهم می‌کند و به سنجش انتخاب‌ها کمک می‌کند (نیکلاس، ژباهر، ۱۳۸۲). یکی از روشهای شناسایی مخاطرات که در ارزیابی ریسک کاربرد زیادی دارد، روش ردیابی انرژی (ET&BA) است که در تحقیق حاضر برای دستیابی به سه هدف زیر، از آن استفاده شد:

۱. شناسایی سیستم مولد ریسک و اجزاء آن، ۲. ارزیابی مخاطرات سیستم
۳. ارائه راه کارهای اصلاحی، جهت ارتقاء سطح ایمنی ساختمان‌های مسکونی در برابر احتمال انتشار گاز منواکسید کربن از سیستم‌های تولید انرژی حرارتی

۳- مبانی نظری تحقیق:

Maiti و Mandal در سال ۲۰۱۴ در مطالعه خود اظهار نمودند که در کنترل ریسک‌های ایمنی بجای اینکه فقط به خطاها و عوامل انسانی پرداخته شود، بهتر است به منابع انرژی و لایه‌های کنترلی آن توجه گردد تا بتوان به روش‌های کنترلی اثربخش‌تری دست یافت. در مطالعه مذکور نیز به کاربرد ET&BA در کنترل ریسک‌ها اشاره شده است. همچنین در این مطالعه بیان شده است که با کنترل منابع انرژی میتوان بخش بزرگی از حوادث را کنترل نمود (Mandal, 2014). روش ردیابی انرژی و واکاوای حفاظ‌ها (ET&BA): یکی از ساده‌ترین اشکال بسط یافته مدل انرژی می‌باشد که براساس این منطق شکل گرفته است که خسارت ناشی از حادثه در اثر تبادلات ناخواسته‌ای که در جریان عبور انرژی از حفاظ به درون سیستم در معرض تماس رخ می‌دهند، به وجود می‌آید. این روش که به‌عنوان ابزاری جهت تجزیه و تحلیل اصولی دلایل حوادث مورد استفاده قرار می‌گیرد، در اصل از تکنیک (پایش مدیریتی و درخت ریسک) برگرفته شده است. در این تکنیک حادثه بعنوان جریان ناخواسته‌ای از انرژی که بر اثر نقص در طراحی یا عملکرد حفاظ‌ها به وقوع می‌پیوندد تعریف می‌گردد (Zaroushani, 2010) بر اساس مطالعه فرهام امین شرعی و همکار ۱۳۸۸، در این روش جریان هر یک از انرژی‌های موجود در سیستم با به کارگیری "منطق توالی" مورد واکاوای قرار می‌گیرد، بدین ترتیب هر نوع انرژی از زمانی که برای اولین بار وارد سیستم می‌شود یا در سیستم به وجود می‌آید، تا زمانی که از سیستم خارج شده، یا تغییر شکل می‌دهد و به انرژی دیگر تبدیل می‌شود، مورد بررسی و واکاوای قرار خواهد گرفت. برای ارزیابی پتانسیل آزاد شدن انرژی از منبع و تماس آن با اهداف بالقوه از آزمون‌هایی استفاده می‌شود. این آزمون‌ها شامل مجموعه‌ای از سوالات «چه می‌شود

3 . H-Nurmi

1 . Bahr, Nicholas J

2 . Ericson

۲-۵- معرفی سیستم مولد ریسک:

مرور پیشینه تحقیقات نشان داد، ریشه حوادث مسمومیت با گاز منوکسیدکربن در ساختمان‌های مسکونی، در سیستم‌های تولید حرارت می‌باشد. بنابراین برای دستیابی به نتایج جامع‌تر و فراگیرتر از این تحقیق، سیستم گرمایش و تهیه آب‌گرم با استفاده از بخاری و آبگرم‌کن‌گازی که پرکاربردترین تجهیزات تولید انرژی حرارت در ساختمان‌های مسکونی کشور است، بعنوان سیستم مولد ریسک انتخاب شد.

۵-۳ منابع تشکیل بانک اطلاعاتی مورد استفاده در تحقیق:

برای شناسایی ریسک‌ها و تشکیل بانک اطلاعاتی از دو منبع زیر استفاده شده است:

۱- اسناد کتابخانه‌ای شامل:

- الف) مجموعه مقررات ملی ساختمان مباحث ۱۴، ۱۷ و ۲۲
 ب) نشریات و استانداردهای سازمان‌های ذیربط، مانند نشریات شرکت ملی گاز ایران، سازمان آتش‌نشانی
 ج) تارنما و پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر مانند تارنمای پزشکی قانونی، شرکت ملی گاز ایران و مجلس شورای اسلامی
 ۲- مصاحبه با کارشناسان و صاحب نظران و استفاده از کاربرد ET&BA بر اساس توصیه نورمی ۱۹۸۱ در پژوهش حاضر از دانش و تجربه ۳۰ کارشناس در قالب گروه تخصصی متفاوت (ناهمگون)، استفاده شد. آگاهی از الزامات مجموعه مقررات ملی ساختمان و نقاط قوت و ضعف اجزاء سیستم مورد مطالعه در تمامی مراحل (طراحی، اجرا و بهره‌برداری از سیستم)، آشنایی با آمار و عوامل موثر در رخداد حوادث انتشار گاز منوکسیدکربن (در استان اصفهان)، معیار انتخاب گروه‌های مختلف خبرگان می‌باشد. گروه‌ها و تعداد کارشناسان در هر گروه، در جدول (۱-۵) نمایش داده شده است.

جدول (۱-۵): مشخصات کارشناسان

ردیف	عنوان (تخصص) کارشناس	تعداد (نفر)
۱	استاد دانشگاه و پژوهشگر	۲
۲	کارشناس حوادث شرکت ملی گاز و بازرسی فنی گاز سازمان نظام مهندسی	۸
۳	کارشناس حوادث سازمان آتش‌نشانی	۷
۴	مهندس ناظر، طراح تاسیسات یا سازه	۵
۵	کارشناس فنی دفتر تحقیقات وزارت راه و شهرسازی، مقررات ملی ساختمان و پدافند غیرعامل	۶
۶	تولید کننده و یا تعمیرکار آموزش دیده، دستگاه گازسوز، مجری (بیمان‌کار) آموزش دیده گاز و یا تاسیسات مکانیکی	۲
	تعداد کل کارشناسان انتخاب شده	۳۰

یک شاخص کیفی تعریف کردند، و شدت خطر و سیستم‌های کنترل و نظارت موجود در مجموعه توسط خبرگان بررسی و نمره‌دهی گردید (بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۷). زینب جهانبانی، مطالعه‌ای را در زمینه ارزیابی ریسک با استفاده از درخت خطای انجام داد. او در این پژوهش برای تعیین وزن رویدادها از نظر خبرگان و متغیرهای کلامی در محیط فازی استفاده کرد (جهانبانی و همکاران، ۱۳۹۶). مرور مطالعات ارزیابی ریسک از روش ردیابی انرژی نشان داد، انرژی‌های موجود در یک سیستم در صورت رهاش یا تبدیل می‌توانند باعث ریسک‌های بوجود آورنده حوادث باشند. از طرفی در مواقعی که امکان دسترسی به بانک اطلاعاتی مورد نیاز وجود ندارد، استفاده از نظر خبرگان در محیط‌های فازی روش مناسبی برای تعیین وزن ریسک‌های موجود است. بر این اساس، چهار بخش اصلی زیر برای دستیابی به اهداف این تحقیق، طراحی و اجراء شد:

- ۱- بخش روش مطالعه شامل الف - معرفی منطقه مورد مطالعه ب - انتخاب سیستم مولد ریسک ج - تهیه بانک اطلاعاتی، د - گام‌های شناسایی ریسک‌های سیستم و حفاظها با روش ارزیابی انرژی ET&BA و - دسته‌بندی موضوعات مورد ارزیابی، ه - گام‌های کمی سازی نظر خبرگان و متغیرهای کلامی در محیط فازی ۲- بخش ارایه نتایج حاصل از شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج ۳- بخش ارایه پیشنهادات اصلاحی به منظور ارتقاء سطح ایمنی سیستم ۴- بخش نتیجه‌گیری نهایی با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی ریسک‌ها و حفاظها.

۵- روش مطالعه:

۵-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه:

تعداد فوت شدگان ناشی از مسمومیت با گاز منواکسیدکربن، هر ساله در تارنمای رسمی مرکز پزشکی قانونی کشور درج می‌شود. بررسی آمار مذکور، مؤید گزارش مجلس شورای اسلامی در خصوص روند افزایشی مسمومیت‌ها در استان اصفهان در دهه ۹۰ و هم‌چنین قرار گرفتن این استان در بین چهار استان کشور با تلفات زیاد است. تحقیقات نشان داد، مسمومیت با گاز منواکسیدکربن نه تنها باعث مرگ آنی افراد می‌شود، بلکه موجب تحمیل بیماری‌های مختلف و مرگ دراز مدت در نجات یافتگان خواهد شد. فراوانی زیاد و رو به افزایش مسمومیت و تلفات گاز سمی منواکسیدکربن در ساختمان‌های مسکونی، هم‌چنین رتبه قابل توجه استان اصفهان از این تلفات، تعارض اهداف قوانین و مقررات ملی ساختمان را با وضعیت موجود در این استان بزرگ در رابطه با تأمین ایمنی ساختمان‌ها نشان می‌دهد که با توجه به خسارات عاطفی و اقتصادی جبران ناپذیر وارد شده به اجتماع و خانواده‌های بازماندگان حوادث، پرکاربردترین سیستم گرمایش و تهیه آب‌گرم مورد استفاده در خانه‌های مسکونی استان اصفهان، بعنوان سیستم مولد ریسک انتخاب شد و در طول چرخه عمر آن، از طراحی تا بهره‌برداری منطبق با استانداردها و دستورالعمل‌های قوانین و مقررات ملی ساختمان، مورد ارزیابی قرار گرفت.

۴-۵- مراحل شناسایی ریسک‌های سیستم و حفاظها با استفاده از روش ET&BA:

ریسک‌های موجود در سیستم تابع نقص در عملکرد اجزاء که باعث تبدیل انرژی‌ها به یکدیگر و یا رها شدن ناخواسته آنها به سمت اهداف می‌شود. بنابراین در گام اول فرایند تولید انرژی حرارتی و خروج محصولات احتراق از سیستم مواد ریسک، برای شناسایی اجزاء سیستم بررسی شد. توضیحات کامل در بند ۱-۷ ارائه شد. گام دوم، در این مرحله هرگونه انرژی موجود در اجزا سیستم، که آزاد سازی آن، پتانسیل آسیب رساندن به اهداف را داشت به عنوان انرژی‌های ناخواسته شناسایی شد (Zaroushani, 2010). در گام سوم، حادثه افزایش غلظت گاز منوکسید کربن نشر شده در فضای مسکونی به بیشتر از استاندارد جهانی ppm ۵۰، به عنوان جریان ناخواسته‌ای از انرژی تعیین شد و تمامی ریسک‌های موثر که به دلیل نقص در حفاظها و یا نقص در طراحی، اجراء و بهره‌برداری از سیستم، که در این حادثه نقش دارند، شناسایی شد. نتیجه این شناسایی در جدول (۳-۵) درج شده است. در گام چهارم، موانع موجود در مسیر جریان انرژی شناسایی شد و هرگونه طراحی، روش اجرایی یا وسایل حفاظت فردی که از دستیابی انرژی مخاطره‌آمیز به اهداف آسیب‌پذیر سیستم جلوگیری می‌کند به عنوان موانع انرژی در نظر گرفته می‌شود (بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۷) در این مرحله استفاده از ابزارهای فیزیکی، آموزشی و مقررات ملی ساختمان توصیه و ارزیابی شد. نتایج در جداول (۳-۵)، (۴-۵)، (۵-۵)، (۶-۵) و (۷-۵) ارائه شد.

۵-۵- ارزیابی ریسک‌ها از طریق منطق فازی:

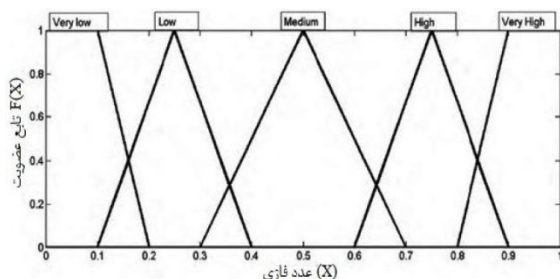
در این مرحله ریسک‌های شناسایی شده، در پنج گروه زیر تفکیک و سپس ریسک‌های هر گروه ارزیابی و اولویت بندی شد: ۱- اثر ریسک‌های مؤثر بر حادثه نهایی، ۲- بررسی تأثیرات عدم اجراء الزامات مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان در دوره بهره‌برداری ۳- مجهز نبودن ساختمان‌ها به دستگاه استاندارد هوشمند تشخیص و هشدار گاز منواکسیدکربن ۴- ارزیابی پیامد خطاهای ناشی از ناآگاهی بهره‌بردار، ۵- ارزیابی نقش بازرسان فنی‌گاز، مهندس ناظر و طراح تأسیسات، در امکان کاهش رخداد خطاهای دوره طراحی و اجرا با رعایت قوانین بالاسری ساخت و ساز. از آنجایی که در این تحقیق، اطلاعات آماری متناسب با ریسک‌های شناسایی شده دسترس نبود، ارزیابی ریسک‌ها با استفاده از نظر خبرگان در محیط فازی انجام شد. منطق فازی تکنولوژی جدیدی است که شیوه‌های مرسوم برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم را که نیازمند ریاضیات پیشرفته و نسبتاً پیچیده است، با استفاده از مقادیر و شرایط زبانی و یا به بیانی دیگر دانش فرد خبره و با هدف ساده‌سازی و کارآمدتر شدن طراحی سیستم، جایگزین و یا تا حدود زیادی تکمیل می‌کند. این نظریه، قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند صورت بندی ریاضی کرده و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان، فراهم آورد (طاهریون و همکاران، ۱۳۹۳). برای تهیه بانک اطلاعاتی با استفاده از نظر خبرگان در محیط فازی، شش گام زیر انجام شد:

گام اول، انتخاب کارشناسان: در این مرحله از نظرات کارشناسان مندرج در جدول (۵-۱) استفاده شد.

گام دوم، تخصیص وزن کارشناسان، در این مطالعه کارشناسان دارای وزن یکسانی هستند که مقدار آن معادل یک تقسیم بر تعداد کل کارشناسان (۱/۳۰) برای هر خبره است.

گام سوم، فرم (پرسش‌نامه) اخذ نظر کارشناسان: ظرفیت ریسک می‌تواند به صورت یک مقدار عددی در فاصله [0, 100%] یا به‌عنوان یک متغیر زبانی با ارزشهایی نظیر بالا، نه خیلی بالا و ... بیان شود (Shapiro, 2004). برای استفاده از نظرات کارشناسان فرم‌هایی برای آن‌ها ارسال شد. در برابر هر ریسک متغیرهای زبانی در دامنه فازی پنج گزینه‌ای با پاسخ‌های، خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد درج گردید و از کارشناسان خواسته شد بسته به نظر شخصی خویش، میزان اهمیت هر یک از ریسک‌های شناسایی شده را نسبت به حادثه نهایی (انتشار و افزایش غلظت گاز منوکسیدکربن در ساختمان‌های مسکونی) در قبال یکی از پاسخ‌های درج شده ارزیابی نمایند.

گام چهارم، کمی کردن نظرات خبرگان با استفاده از متغیرهای زبانی فازی، متغیرهای زبانی، واحدهای ساختمانی منطق فازی هستند و به عنوان متغیرهایی تعریف می‌شوند که مقادیر آنها با استفاده از نظرات کارشناسان در دامنه فازی و ترم‌های زبانی، ارائه شده توسط (چن و هوانگ، ۱۹۹۲) به صورت کمی درآمد و وزن آنها تعیین شد (Shapiro, 2004). نمودار شماره ۴-۱ دامنه فازی متغیرهای زبانی استفاده شده را نشان می‌دهد و جدول شماره (۲-۵) متغیرها و ترم‌های زبانی به کار رفته را نشان می‌دهد:



نمودار شماره (۱-۴) نمودار دامنه فازی

جدول شماره (۲-۵): متغیرها و ترم‌های زبانی

متغیر زبانی	وزن ترم‌های زبانی			
خیلی کم (VL)	۰	۰	۰/۱	۰/۲
کم (L)	۰/۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۴
متوسط (M)	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۰/۷
زیاد (H)	۰/۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۹
خیلی زیاد (VH)	۰/۸	۰/۹	۱	۱

گام پنجم، اجماع نظر کارشناسان، برای اجماع نظر کارشناسان، نمره وزن هر کارشناس در نمره متغیرهای زبانی او ضرب می‌شود. این کار طبق روش مطالعه (جهانبانی و همکاران، ۱۳۹۶) و (Renjith, 2010) و با استفاده از رابطه (۱-۵) انجام شد.

مراحل محاسباتی فوق در نرم افزار اکسل انجام شد و با توجه به نوع پرسش‌های مطرح شده از کارشناسان، اعداد حاصل از مراحل دیفازی بعنوان درصد امکان و یا اهمیت تأثیر هر ریسک در رخداد رویداد نهایی تعیین و در جداول زیر ارائه شد:

جدول شماره (۳-۵) نتایج حاصل از شناسایی انرژی‌های موجود در اجزای سیستم

جدول شماره (۴-۵) ارزیابی تأثیر عدم اجراء الزامات مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان در دوره بهره‌برداری

جدول شماره (۵-۵) ارزیابی تأثیر مجهز نبودن ساختمان‌ها به دستگاه استاندارد هوشمند

جدول شماره (۶-۵) ارزیابی پیامد خطاهای ناشی از ناآگاهی بهره‌بردار و امکان تأثیر هر پیامد بر حادثه نهایی

جدول شماره (۷-۵) ارزیابی امکان کاهش رخداد خطاهای دوره طراحی، اجراء با رعایت قوانین و مقررات ملی ساختمان ساخت و ساز

۶- ارائه نتایج

در جدول شماره (۳-۵) حاصل از شناسایی انرژی‌های موجود در اجزای سیستم و نحوه عملکرد و تأثیر رهايش و یا تبدیل این انرژی‌ها به یکدیگر ارائه شده است. همچنین ریسک‌های موثر و اثر آنها بر حادثه نهایی، با توجه به محاسبات فازی بصورت اعداد امکانی در این جدول مشخص شده است. مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان دارای الزاماتی است که اجراء آنها امکان شناسایی و حذف کانون‌های خطر را فراهم می‌سازد. از آنجایی که مفاد این مبحث در حال حاضر اجرا نمی‌شود، ریسک‌های تأثیر عدم اجراء این مبحث شناسایی و ارزیابی شد. جدول شماره (۴-۵) ارزیابی ریسک‌های عدم اجراء الزامات مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان در دوره ارزیابی بهره‌برداری و پیامدهای آن را نشان می‌دهد.

$$Mi = \sum_{j=1}^n W_j A_{ij} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m)$$

رابطه (۱-۵) اجماع نظر کارشناسان

در این فرمول:

A_{ij} : متغیر زمانی در رابطه با هر رویداد اساسی i توسط کارشناس j

W_j : وزن کارشناس j

m : تعداد کارشناسان

n : تعداد کارشناسان

M_i : عدد فازی اجماع نظر کارشناسان در رابطه با هر رویداد اساسی i

گام ششم ، غیر فازی کردن، برای تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی میتوان از روش مرکز گرانیگاه نیز استفاده نمود. به دلیل این که این روش تمام نقاط حوزه تعریف و درجه عضویت می‌گیرد، روش دقیق‌تری برای برای دیفازی کردن به شمار می‌رود (Onisawa, 1990). غیر فازی کردن اعداد فازی روش مهمی برای تصمیم‌گیری در محیط فازی است. در این تحقیق روش مرکز گرانیگاه برای غیر فازی کردن انتخاب شده است. این روش توسط سوگو در سال ۱۹۸۵ توسعه یافته است و دقیق‌ترین روش غیر فازی کردن است (جهانبانی و همکاران، ۱۳۹۶). غیر فازی کردن عدد فازی دوزنقه‌ای بدست آمد.

$$A_{\sim} = (a_4 + a_3 - a_2 - a_1) \quad (۲-۵)$$

$$X^* = \frac{1}{3} \frac{(a_4 + a_3)^2 - a_4 a_3 - (a_1 + a_2)^2 + a_1 a_2}{(a_4 + a_3 - a_2 - a_1)} \quad (۵-۲)$$

اعداد بدست آمده از این مرحله در رابطه با هر رویداد اساسی، معادل نظر کارشناسان بوده و به صورت امکانی است (Onisawa, 1990).

جدول شماره (۳-۵) نتایج حاصل از شناسایی انرژی‌های موجود در اجزای سیستم

ردیف	نوع انرژی	شرح خطر	امکان تأثیر بر حادثه نهایی	عملکرد انرژی	تأثیر	دوره
۱	موجودات	ناتوانی حواس انسان در شناسایی گاز منواکسید کربن منتشر شده بدلیل ماهیت گاز (بدون بو و رنگ)	۸۷۸	کنش و واکنش بین انسان و انرژی‌های موجود سیستم	افزایش پتانسیل علظت گاز منواکسید کربن منتشر شده	بهره‌برداری
۲	کاهش فشار انرژی جنبشی	اجراء رابط دودکش، یا دودکش فلزی ناایمن بصورت افقی و با طول زیاد ۱۷-۸-۲-۳	۸۶	کاهش فشار ونت غیر مثبت	برگشت محصولات احتراق به دستگاه	خطای بهره‌برداری
۳	پتانسیل	عبور دادن دودکش از محل‌های غیر مجاز مانند شیشه درب و پنجره	۸۵۴	کنش و واکنش اجسام بر اجزاء سیستم	شکستن شیشه	خطای بهره‌برداری
۴	جوی	خروج سرآزاد دودکش از بدنه (نما) ساختمان ویا به فضاهای مسقف مانند تراس و...	۸۴۵	فشار معکوس جریانات ناپایدار و دمای محیط	کاهش فشار ونت غیر مثبت	خطای بهره‌برداری

خطای بهره‌برداری	احتمال نصب در فضای محدود	کنش و واکنش انسان و سیستم	۸۴۲	نصب تجهیزات گازسوز در فضاهای غیرمجاز توسط بهره بردار پس از اخذ پایان کار عملیات ساختمان	موجودات	۵
خطای بهره‌برداری	کاهش فشار ونت غیر مثبت	افزایش حجم محصولات احتراق در مسیر	۸۳۷	متصل کردن غیر مجاز چند دستگاه گازسوز، به یک دودکش مشترک ۱۷-۸-۱-۳	کاهش فشار انرژی جنبشی	۶
خطای بهره‌برداری	مسدود شدن مسیر خروج محصولات احتراق	خطای دودکش	۸۳۱	استفاده غر مجازاز لوله‌های قابل انعطاف(خرطومی یا آکاردئونی) بعنوان رابط یا دودکش.۱۷-۸-۴-۱۳	پتانسیل	۷
بهره‌برداری	افزایش پتانسیل غلظت گازمنوکسیدکربن منتشر شده	کنش و واکنش بین انسان و انرژی های موجود سیستم	۸۲۵	خواب بودن یا عدم هوشیاری ساکنین به هر دلیل دیگر موقع انتشار گاز	موجودات	۸
خطای دوره اجراء	کاهش فشار ونت غیر مثبت	فشار معکوس جریانات ناپایدار	۸۱۶	اجراء دودکش با ارتفاع نامناسب (کمتر از یک متر انتهای آزاد) از روی بام، ۱۷-۸-۵-۱	جوی	۹
بهره‌برداری	کاهش و یا حذف فشار ونت غیر مثبت	کنش و واکنش موجودات بر اجزاء سیستم	۸۰۵	لانه سازی پرندگان در خروجی دودکش بدلیل افتادن کلاهک	جانوران	۱۰
خطای دوره اجراء	کاهش فشار ونت غیر مثبت	فشار معکوس جریانات ناپایدار	۸۰۵	عدم رعایت فاصله ۳ متر و یا ارتفاع مناسب ۶۰ سانتی‌متر، دودکش‌از دیوارهای بلند مجاور۱۷-۸-۱-۵	جوی	۱۱
بهره‌برداری	کاهش هوای مورد نیاز احتراق	خطای دستگاه در فضای محدود	۸۰۳	استفاده از بخاری بدون دودکش در فضاهای مانند اتاق خواب (۱۴-۸- ۳-۶)	پتانسیل	۱۲
خطای طراحی	کاهش حجم هوای مورد نیاز احتراق در دستگاه	اختلال در انتقال حجم مناسب محصولات احتراق	۸۰۳	بوجود آمدن دودکش‌ها با قطر نامناسب نسبت به دستگاه گازسوز (۱۴-۱۱-۱-۲)	جابجایی فشار انرژی جنبشی	۱۳
خطای طراحی	کاهش غلظت اکسیژن محیط	انتقال محصولات احتراق به محیط	۸۰۲	عبور دودکش از فضاهای داخلی و سقف کاذب حمام ۱۷-۸-۵-۳	پتانسیل	۱۴
بهره‌برداری	برگشت محصولات احتراق به دستگاه	کاهش و یا حذف فشار ونت غیر مثبت	۷۹۴	مسدود شدن مسیر ویا دهانه دودکش از روی بام، با هر نوع جسم خارجی بدلیل افتادن کلاهک	کاهش فشار انرژی جنبشی	۱۵
خطای دوره اجراء	نشت محصولات احتراق به فضای مسکونی	خروج محصولات احتراق از دودکش	۷۹۴	استفاده از قطعات لوله‌های سیمانی پیش ساخته سر صاف(لب‌به لب). بدون نر و ماده فنجان۱۷-۸-۵-۹	پتانسیل	۱۶
اجراء	نشت محصولات احتراق به فضای مسکونی	انتقال	۷۷۶	خطای نشت دودکش به دلیل عدم درزبندی و پیوستگی مناسب در دودکش (۲-۱۱-۱۴-ب)	پتانسیل	۱۷
بهره‌برداری	کاهش هوای مورد نیاز احتراق	خطای دستگاه	۷۷۱	خطای دستگاه به دلیل بسته بودن فضا و عدم گردش آزاد هواو عدم تامین هوای احتراق(۴-۹-۱۴)	پتانسیل	۱۸
بهره‌برداری	نشت محصولات احتراق به محیط اطراف	اکسیده شدن رابط فلزی دودکش	۷۶۳	ایجاد شکاف و پارگی در رابط فلزی دودکشهای	شیمیایی	۱۹

ادامه جدول شماره (۳-۵) نتایج حاصل از شناسایی انرژی های موجود در اجزای سیستم

ردیف	نوع انرژی	شرح خطر	امکان تاثیر بر حادثه نهایی	عملکرد انرژی	تأثیر	دوره
۲۰	کاهش فشار انرژی جنبشی	بسته بودن روزنه‌های ورودی هوای تازه در فضایی که دستگاه گازسوز استفاده می‌شود	۰.۷۶۳	کاهش و یا حذف فشار ونت غیر مثبت	برگشت محصولات احتراق به دستگاه	بهره‌برداری
۲۱	پتانسیل	جانمایی نامناسب محل نصب تجهیزات و دودکش‌ها ۷-۱۷	۰.۷۶	عدم تأمین هوای مورد نیاز احتراق	کاهش غلظت اکسیژن محیط	خطای طراحی
۲۲	شیمیایی	استفاده از دستگاه گاز سوز پر مصرف (آب گرم کن فوری) در واحد کمتر از ۶۰ متر مربع (۷-۵-۱۷)	۰.۷۵	سوختن اکسیژن محیط اطراف توسط دستگاه	کاهش هوای (اکسیژن) مورد نیاز احتراق	بهره‌برداری
۲۳	پتانسیل	استفاده از دستگاه‌های فاقد تادیه موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ۱-۱-۷-۱۷	۰.۷۳	خطای دستگاه	عدم تأمین هوای مورد نیاز احتراق توسط دستگاه	بهره‌برداری
۲۴	جوی	تأثیر جریان ناپایدار هوای بیرون، بر دودکش‌های بدون کلاهک	۰.۷۱۳	تولید فشار معکوس در دودکش	کاهش هوای مورد نیاز احتراق در دستگاه	بهره‌برداری
۲۵	پتانسیل	خطا در عمل کرد سیستم ODS در بخاری بدون دودکش (۵-۶-۸-۱۴)	۰.۷۰۴	عدم تعامل دستگاه با محیط	کاهش غلظت اکسیژن فضای اطراف	بهره‌برداری
۲۶	پتانسیل	خطای دستگاه بر اثر فرسودگی کلاهک تعدیل و یا کثیف بودن نازل‌های شیر احتراق	۰.۶۵۹	کاهش حجم هوای مورد نیاز احتراق	تولید گاز منوکسیدکربن توسط دستگاه	بهره‌برداری
۲۷	انرژی جنبشی	انتقال گاز منواکسیدکربن حاصل سوخت ناقص از طریق آب‌گرم به حمام بر اثر اکسیده شدن مبدل گرمایی	۰.۶۵۹	انتقال محصولات احتراق	افزایش غلظت منوکسیدکربن فضایی که به آن وارد می‌شود	بهره‌برداری
۲۸	پتانسیل	فرسودگی کلاهک تعدیل، مخزن احتراق دستگاه گازسوز	۰.۶۲۵	خطای دستگاه	کاهش تأمین هوای مورد نیاز احتراق توسط دستگاه	بهره‌برداری
۲۹	موجودات	خطای عکس‌العمل انسانی مانند افزایش شعله بخاری با توجه به تشابه علائم بالینی مسمومیت با آنفولانزا و تب	۰.۶	کنش و واکنش بین انسان و انرژی‌های موجود سیستم	افزایش پتانسیل غلظت گاز منوکسیدکربن منتشر شده	بهره‌برداری
۳۰	شیمیایی	خطای استفاده از آب گرم کن در داخل حمام ۱۷-۷-۲-۳	۰.۵۵۱	سوختن اکسیژن محیط اطراف توسط دستگاه	کاهش هوای مورد نیاز احتراق	بهره‌برداری

جدول (۴-۵): ارزیابی عدم اجراء الزامات مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان در دوره بهره‌برداری

دوره	ریسک	پیامد	امکان تأثیر پیامد بر رخداد حادثه نهایی	حفاظ
بهره برداری	عدم تعیین مسئول قانونی ساختمان به منظور نگهداری و انجام بازدیدهای دوره‌ای از دستگاه‌ها و دودکشها	بهره‌برداری از دودکش‌ها و دستگاه‌های دارای پتانسیل تولید حادثه	۸۶۷ درصد (۸۶/۷)	اجراء مفاد آیین‌نامه مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان بند ۳-۶-۲۲

اجراء مفاد آیین نامه مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان بند ۳-۱-۲۲-۶	۸۷۶ (۸۷/۶)	عدم شناسایی و اعمال دستورالعمل های فنی در جهت حذف کانون های خطر	خلأ انجام بازدیدهای دوره ای توسط بازرس آموزش دیده، بخصوص در ساختمانهای عمدتاً فرسوده که احتمالاً نظارت مهندس تاسیسات یا بازرس گاز در آنها انجام نشده است..
اجراء مفاد آیین نامه مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان بند ۲-۱۲-۲۲-۴	۸۶ ۸۶ درصد	ادامه بهره برداری از سیستم دارای پتانسیل تولید حادثه توسط بهره بردار جدید	خلأ آگاه شدن مستاجرو یا مالک جدید از کانون های خطر و یا دودکش های نالایم.

گاز منوکسید کربن قابل با حواس انسانی قابل تشخیص نیست، الزام به نصب دستگاه آشکارساز منوکسید کربن در ساختمان های مسکونی بعنوان یک حفاظ معرفی شد. جدول (۵-۵) میزان تأثیر و رویداد بلافصل (پیامد) حاصل از مجهز نبودن ساختمان ها به این دستگاه را نشان می دهد.

جدول (۵-۵) ارزیابی تأثیر مجهز نبودن ساختمان ها به دستگاه استاندارد هوشمند

دوره	ریسک	پیامد	امکان تأثیر پیامد بر رخداد حادثه نهایی	حفاظ
بهره برداری	مجهز نبودن ساختمان ها به دستگاه استاندارد هوشمند تشخیص و هشدار گاز منواکسید کربن	افزایش غلظت گاز منوکسید کربن پس از انتشار در فضای مسکونی	۸۱۴ (۸۱/۴) درصد	الزام به نصب دستگاه هشدار دهنده CO

آگاه کردن بهره بردار از خطرات گاز سمی منوکسید کربن و چگونگی پیشگیری از انتشار آن در فضای مسکونی از طریق ارائه آموزش های مؤثر در رسانه های فراگیر مانند رسانه ملی، بعنوان یک حفاظ معرفی شد. جدول (۵-۶) پیامد خطاهای ناشی از نا آگاهی همچنین عدد امکانی تأثیر هر پیامد بر رخداد حادثه نهایی را نشان می دهد.

جدول (۵-۶) پیامد خطاهای ناشی از نا آگاهی همچنین امکانی تأثیر هر پیامد بر رخداد حادثه نهایی

دوره	ریسک	پیامد	امکان رخداد پیامد	حفاظ
آگاه نبودن بهره بردار از لزوم رعایت دستورالعمل های سازمان های مرتبط مانند آتش نشانی، شرکت ملی گاز و ...	نا آگاهی بهره برداران از لزوم ونحوه انجام بازدیدهای دوره ای و مستمر از سلامت دودکش ها و تجهیزات	ناشناخته ماندن کانون های خطر	۸۷۶ (۸۷/۶) درصد	آموزش های مرتبط به بهره برداران از طریق رسانه های فراگیر
	نا آگاهی بهره برداران از ماهیت و خطرات گاز منواکسید کربن	بهره برداری از دودکش ها و دستگاه های دارای پتانسیل تولید حادثه	۸۳۶ (۸۳/۶) درصد	
	عدم شناخت بهره برداران از اقدامات ایمنی پیشگیری از ریسک انتشار گاز منواکسید کربن	حذف نشدن (حفظ پتانسیل)، کانون های مولد حادثه	۸۴۵ (۸۴/۵) درصد	
	عدم آگاهی بهره برداران از انجام اقدامات ایمنی پس از آگاهی احتمالی از انتشار گاز منواکسید کربن	افزایش غلظت گاز منوکسید کربن پس از انتشار در فضای مسکونی	۸۴۷ (۸۴/۷) درصد	

هستند، را نشان می‌دهد. در انتهای جدول عدد متوسط (میانگین) اخذ شده برای هر گروه از مهندسين، نشان دهنده میزان اهمیت خدمات آنان در افزایش و یا کاهش امکان رخداد افزایش غلظت گاز منوکسیدکربن پس از انتشار می‌باشد.

جدول شماره (۷-۵)، نتایج ارزیابی امکان کاهش خطاهای دوره طراحی و اجراء با استفاده از خدمات مهندسان بازرس فنی گاز سازمان نظام مهندسی در کنترل نقشه‌های گاز و بازدیدهای دوره‌ای، هنگام اجرای سیستم، برای ساختمان‌هایی که فاقد مهندس طراح و ناظر تاسیسات،

جدول مقایسه (۷-۵): ارزیابی امکان کاهش رخداد خطاهای دوره طراحی، اجراء با رعایت قوانین بالاسری ساخت و ساز

اعداد امکانی		شرح رویداد	دوره
ارزیابی امکان کاهش خطاهای دوره طراحی و اجراء با استفاده از خدمات مهندسان بازرس فنی گاز سازمان نظام مهندسی در کنترل نقشه‌های گاز و بازدیدهای دوره‌ای، هنگام اجرای سیستم (در ساختمان‌های فاقد مهندس طراح و ناظر تاسیسات)	ارزیابی امکان رخداد خطاهای طراحی و اجرایی، (در ساختمان‌هایی که از خدمات مهندسان طراح و ناظر تاسیسات، سازمان نظام مهندسی در تهیه نقشه‌های گاز، و کنترل‌های مرحله‌ای منطبق با ضوابط مقررات ملی ساختمان، استفاده نمی‌شود).		
۸۹ (درصد ۸۹)	۷۶ (درصد ۷۶)	تعیین جانمایی نامناسب برای تجهیزات و دودکش‌ها، زمان تهیه نقشه گاز	سیستم طراحی
۸۲۵ (درصد ۸۲/۲۵)	۸۰۲ (درصد ۸۰/۲)	تعیین محل عبور دودکش از فضاهای داخلی سقف‌های کاذب حمام و زمان تهیه نقشه گاز	
۸۱۶ (درصد ۸۱/۶)	۸۰۳ (درصد ۸۰/۳)	بوجود آمدن دودکش‌ها با قطر نامناسب نسبت به دستگاه گازسوز	
۸۶۸ (درصد ۸۶/۸)	۷۹۴ (درصد ۷۹/۴)	اجراء قطعات لوله‌های سیمانی پیش‌ساخته سر صاف (لب به لب). بدون نر و ماده فنجانی ۹-۵-۸-۱۷	اجراء سیستم
۸۴۲ (درصد ۸۴/۲)	۸۰۵ (درصد ۸۰/۵)	اجراء دودکش بدون در نظر گرفتن رعایت فاصله افقی ۳ متر و یا ارتفاع مناسب ۶۰ سانتی‌متر بالاتر، از دیوارهای مجاور	
۸۵۳ (درصد ۸۵/۳)	۸۱۶ (درصد ۸۱/۶)	اجراء دودکش با ارتفاع نامناسب (کمتر از یک متر انتهای آزاد) از روی بام، ۱۷-۸-۵-۱	
۸۴۹ (درصد ۸۴/۹)	۷۹۶ (درصد ۷۹/۶)	میانگین	

غیر مثبت کار می‌کنند. حرارت محصولات معبر دودنیروی جابجایی (لیفت) حرارتی لازم برای رسیدن به مکش قوی در ونت را فراهم می‌کند. به عبارت دیگر، به دلیل خروج هوای گرم ازدودکش، هوای سرد محیط محفظه احتراق مکیده می‌شود (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰). عدم رعایت نکات ایمنی در مورد دودکش خسارات جبران ناپذیری چون مسمومیت و مرگ را بدنبال دارد زیرا تنها راه ارتباطی وسایل گازسوز با فضای خارج از ساختمان از طریق دودکش است (حیدری، ۱۳۹۰). با توجه به الزامات مبحث ۱۴ و ۱۷ مقررات ملی ساختمان، توجه جدی به طراحی و اجراء دودکش استاندارد سیستم‌ها و لوازم گازسوز دودکش‌دار و همچنین تهیه مناسب هوا برای احتراق ضروری است (نوفرستی، ۱۳۸۸). همانطور که قبلاً ذکر شد، نرسیدن اکسیژن کافی به شعله در اثر عدم تهیه کافی، و وجود موانع در مسیر خروج محصولات احتراق عوامل اصلی ایجاد گاز منوکسید کربن در

نتایج این تحقیق در دو گروه کمی و کیفی به دست آمد و هر گروه به شرح زیر تحلیل شد.

۷- تحلیل نتایج کیفی

۷-۱ شناسایی منابع انرژی در اجزاء سیستم مولد ریسک:

دامنه یا حدود قابل اشتعال (انفجار) گاز شهری بعنوان منبع سوخت مولد انرژی حرارتی سیستم، برابر ۵ تا ۱۵ درصد است (اسدی ملردی و همکاران، ۱۳۵۸). پکیج‌های دیواری، پکیج‌های زمینی و شومینه‌های تزئینی، همه نمونه‌های دستگاه‌های مستقیم است که هوای احتراق را ازفضاهای مسکونی می‌گیرند. در این دستگاه‌ها برای هر متر مکعب گاز احتراقی، حجمی مساوی از هوای رقیق کننده در کلاهدک تعادلی افزوده می‌شود. بنابراین برای سوختن هر ۱ مترمکعب گاز طبیعی، ۳۰ مترمکعب گاز احتراقی باید از معبر دود خارج شود. تخلیه محصولات احتراق از آب‌گرم‌کن و بخاری گازی با مکش طبیعی انجام می‌شود که با فشار ونت

گاز سمی منتشر شده، در ترکیب مجدد با مهم‌ترین خطای انسانی، باعث افزایش غلظت گاز منوکسیدکربن و رخداد حادثه نهایی مسمومیت ساکنین می‌شود. از تحلیل نتایج کمی تحقیق حاضر مؤثرترین ریسک شناسایی شد.

۸- تحلیل نتایج کمی تحقیق: (بررسی موانع و حفاظها)

۸-۱ رویکرد شناسایی حفاظها:

سوابق مطالعات انجام شده در صنایع، در خصوص راهبردها و موانع انرژی نشان می‌دهد، توجه به برخی از مسایل مدیریت ایمنی و بهداشت حرفه‌ای از جمله آموزش ایمنی، آموزش حرفه‌ای، برقراری ارتباط مدیریتی پیمان کاران و سیستم تعمیرات و نگهداری پیش‌گیرانه می‌تواند نقش مؤثری در کاهش ریسک‌های ایمنی داشته باشد. علاوه بر این، ارائه آموزش‌های حرفه‌ای افراد در زمینه‌هایی مانند، ویژگی‌ها و مسؤلیت‌های شغلی، مسائل فنی و عملکرد تجهیزات، می‌تواند در درک نقش آنها در بهره‌وری ایمنی سیستم، مؤثر باشد (Lahijanjan.H, 2000) با توجه به این دو رویکرد (مدیریت ایمنی و آموزش ایمنی)، حفاظها به شرح زیر شناسایی و بررسی شد.

۸-۲ تجهیز ساختمان‌ها به دستگاه آشکارساز و هشدار دهنده منوکسید کربن:

غلظت مجاز یا استاندارد جهانی برای گاز منوکسیدکربن ۵۰ ppm، یا ۵۰ واحد گاز در یک میلیون واحد از هوا می‌تواند باشد که در چنین شرایطی حداکثر به مدت ۸ ساعت می‌توان در محیط حضور داشت (راهنمای ایمنی مصرف کنندگان گاز طبیعی، شماره ۸۹) بررسی پیشینه تحقیق نشان داد، گاز منوکسیدکربن منتشر شده قابل تشخیص با حواس انسانی نمی‌باشد و همین خاصیت است که باعث افزایش غلظت این گاز سمی پس از انتشار در فضای مسکونی می‌شود. نتایج پژوهشی درمازندران نشان داد، در بیشتر موارد، مسمومیت‌های منجر به فوت ناشی از گاز CO (قاتل خاموش) به صورت آرام و پنهان پدیدار می‌شود، علایم تدریجی آن عملاً مجال هرگونه دفاع و فرار شخص را ناممکن می‌سازد (شکرزاده و همکاران، ۱۳۹۲). تحقیقی، با هدف یافتن راه حل کاهش احتمال مسمومیت و مرگ و میر ناشی از انتشار گاز منوکسیدکربن در ایالات متحده آمریکا در بین سالهای ۱۹۸۰ - ۱۹۹۵، در نیومکزیکو انجام شد. و نتایج نشان داد، از میان ۸۰ نفر که مرگ آنها به‌عنوان مسمومیت ناخواسته با گاز منوکسیدکربن در خانه طبقه‌بندی شده بود، ۴۹ نفر به احتمال زیاد در هنگام انتشار گاز خواب بوده‌اند (Steven, 1998). الزام به استفاده از آشکارساز و هشدار دهنده منوکسیدکربن در ساختمان‌ها، یکی از راه‌کارهای توصیه شده در نتایج تحقیق مرکز پژوهش مجلس شورای اسلامی در سال ۱۳۹۲، می‌باشد (فرزانه ویسی و همکاران، ۱۳۹۲) نتایج این مطالعه نشان داد، خطای ناتوانی حواس انسانی در تشخیص گاز منوکسیدکربن منتشر شده، با عدد ۸۷٪ درصد، درمقایسه با سایر ریسک‌های شناسایی شده دارای بیشترین امکان تأثیر گذاری در رخداد افزایش غلظت منوکسیدکربن و افزایش حوادث می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود ساختمان‌هایی که از سیستم بخاری و آب‌گرم‌کن گازی دستگاه آشکارساز و هشدار دهنده منوکسید کربن در ساختمان

وسایل گازسوز محسوب می‌شوند، که در کنار میل ترکیبی شدید گاز منواکسیدکربن با هموگلوبین خون جان انسان‌ها را تا حد مرگ نیز به خطر می‌اندازد. بر اساس آنچه گفته شد، فرآیند تولید انرژی حرارتی در ساختمان‌ها با استفاده از دستگاه مستقیم (بخاری و آب‌گرم‌کن گازی)، از ورود گاز طبیعی و هوای احتراق به دستگاه گازسوز تا تخلیه محصولات احتراق با مکش طبیعی از معبر دود، تابع کارکرد انرژی‌های متعددی است که منابع آنها در چهار جزء اصلی سیستم به این شرح است:

- ۱- شرایط محیطی برای تأمین هوای مورد نیاز سوختن گاز طبیعی (انرژی جنبشی)،
- ۲- شرایط فیزیکی دستگاه گازسوز، فرسودگی استانداردها و قوانین (منبع انرژی پتانسیل و شیمیایی)،
- ۳- دودکش با مکش طبیعی، (منبع انرژی جنبشی)
- ۴- عوامل انسانی، تأثیر رفتار انسان بر چرخه عمر سیستم. (منبع انرژی موجودات) شناسایی این منابع انرژی (اجزاء سیستم) زمینه‌ساز شناسایی ریسک‌های مؤثر گردید.

۲-۷ نقش عوامل انسانی در هم‌افزایی ریسک‌ها:

نتایج تحقیق زراوشانی و همکارانش نشان داد، برخی از منابع انرژی موجود در صنعت به تنهایی یا با ترکیب سایر انرژی‌ها، می‌توانند منجر به ایجاد اثر هم‌افزایی و بروز چندین ریسک متفاوت شوند. شناسایی و کنترل اینگونه منابع انرژی می‌تواند با کاهش هزینه‌ها و سودمندی اقدامات کنترلی، نقش مؤثری در ایمن‌سازی و ارتقاء ایمنی سیستم داشته باشد (Zaroushani, 2010). در مطالعه حاضر با استفاده از این رویکرد مهم، اثر انرژی جنبشی در چرخه تأمین و هدایت هوای مورد نیاز احتراق از محیط اطراف به دستگاه گازسوز و هدایت محصولات احتراق با نیروی ونت غیر مثبت به فضای خارج از ساختمان مسکونی، به عنوان یک عامل بسیار مهم شناسایی شد. حذف و یا کاهش این انرژی، موجب فعال شدن سایر انرژی‌های موجود در فرآیند است که در نهایت باعث تولید و انتشار گاز منوکسیدکربن می‌شوند. انرژی‌های موجود در اجزاء سیستم با توجه به مراحل چرخه عمر آن ردیابی شد و با استفاده از کاربرگ‌های ET&BA و نظر متخصصین، بشرح زیر شناسایی شد:

- الف - از تعداد کل ۳۰ ریسک مؤثر، ۲۳ ریسک مربوط به دوره بهره‌برداری،
- ب - ۴ ریسک مربوط به دوره اجراء
- ج - تعداد ۳ ریسک مربوط به دوره طراحی می‌باشد.
- بنابراین جدول ریسک‌ها نشان داد، تغییر و یا تبدیل ناخواسته انرژی‌های موجود به یکدیگر، عمدتاً پیامد خطاهای انسانی دوره بهره‌برداری بر روی اجزاء سیستم و بخصوص بر روی دودکش‌هاست. عامل انسانی در نتایج تحقیق مرکز پژوهش‌های مجلس نیز، به چشم می‌خورد. از نظر این مطالعه عوامل انسانی در دهه هشتم، علت رشد حوادث مسمومیت با گاز منوکسیدکربن در خانه‌های مسکونی کشور، بوده است (ویسی، ۱۳۹۲).
- این انرژی‌های ناخواسته موجب حذف و یا کاهش اثر انرژی جنبشی در چرخه تأمین هوای مورد نیاز سوخت کامل و خروج محصولات احتراق از ونت غیر مثبت و در نهایت تولید و انتشار گاز سمی منوکسیدکربن حاصل از سوخت ناقص، در فضای مسکونی می‌شود. انرژی شیمیایی موجود در

۳-۸ بررسی تأثیر اجراء مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان**در دوره بهره‌برداری بر کاهش ریسک‌ها**

نتایج این تحقیق نشان داد، خطاهای دوره بهره‌برداری دارای بیشترین سهم از ریسک‌های شناسایی شده است. بنابراین الزامات مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان برای شناسایی و اصلاح کانون‌های خطر، بعنوان یک حفاظ مؤثر توصیه شد. هدف مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان، تعیین حداقل الزاماتی است که باید برای جلوگیری از بروز خطرات مختلف، در زمان بهره‌برداری از تأسیسات گازرسانی ساختمان‌ها رعایت شود. الزامات این مبحث تأکید دارد، کلیه تأسیسات و تجهیزات گازسوز بایستی در دوره‌های زمانی مشخص، بازرسی شوند و از ایمن بودن آنها اطمینان حاصل شود (مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲). در حال حاضر این مبحث در کشور اجراء نمی‌شود، در حالی که اجرای الزامات آن امکان شناسایی و حذف کانون‌های خطر را فراهم می‌کند. خلاء اجرای این الزامات در رابطه با موضوع تحقیق بررسی شد. نتایج محاسبات فازی نشان داد، عدم انجام بازدیدهای دوره‌ای توسط بازرس آموزش دیده دارای ضریب امکان ۸۷/۶ درصد تأثیر در وقوع رویداد نهایی است که رتبه دوم را در بین تمامی ریسک‌های شناخته شده دارد. این جایگاه بیانگر اهمیت بازدیدهای کارشناسان در شناسایی و اصلاح کانون‌های خطر می‌باشد.

۴-۸ بررسی تأثیر آموزش بر بهبود رفتار نایمن بهره‌بردار:

در اکثر مطالعاتی که بر روی رفتار نایمن صورت گرفته است نتایج نشان می‌دهد که رفتار نایمن می‌تواند متأثر از جنبه‌های مختلفی از جمله نوع شغل، سطح تحصیلات، وضعیت تأهل، سابقه کار و همچنین سن افراد باشد که با توجه به پیچیدگی و غیر قابل پیشبینی بودن انسان، کنترل رفتار آنها مشکل است با این حال می‌توان با برنامه‌ریزی دقیق و مدون، بسیاری از این گونه رفتارها را کاهش داد. از این نظر آموزش ایمنی و القای این مفهوم که اول ایمنی بعد کار ضروری است، می‌تواند گام مؤثری در جهت بهبود رفتار ایمن برداشت (هاشمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). در مطالعه محمد شکرزاده و همکاران، سیکار ۲۰۱۵، در مورد عوامل انسانی و اصلاح آن با رویکرد بهبود و جلوگیری از مرگ و میر ناشی از مسمومیت، بر سرمایه‌گذاری روی روش آموزش و ارتقای فرهنگ گروه هدف، تأکید شده است (شکرزاده، ۱۳۹۲) (Am J Emerg Med, 2015). در بسیاری از مطالعات دیگری در صنعت، مانند ویدا زراوشانی و همکاران، از آموزش بعنوان یک حفاظ نام برده شده است (Zaroushani, 2010). مطالب مندرج در گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس نشان می‌دهد که عوامل انسانی و فنی در کاهش وقوع مرگ و میر ناشی از مسمومیت با گاز مونواکسید کربن مؤثرند (ویسی، ۱۳۹۲). در تحقیق حاضر، تأثیر عوامل انسانی در ایجاد و یا پایدار ماندن پتانسیل خطر در اجراء سیستم در دوره بهره‌برداری، در قالب گروه (خطاهای ناشی از عدم آگاهی بهره‌بردار)، شناسایی شد. نتایج ارزیابی فازی نشان داد، ناآگاهی بهره‌برداران از لزوم و نحوه انجام بازدیدهای دوره‌ای و مستمر از سلامت دودکش‌ها و تجهیزات که پیامد آن ناشناخته ماندن کانون‌های خطر است، با عدد ۸۷/۶ درصد دارای بالاترین امکان تأثیر در افزایش غلظت گاز منتشر شده نسبت شد. نتایج ارزیابی فازی نشان داد، ناآگاهی بهره‌برداران از لزوم و نحوه انجام بازدیدهای دوره‌ای و مستمر از سلامت

دودکش‌ها و تجهیزات که پیامد آن ناشناخته ماندن کانون‌های خطر است، با عدد ۸۷/۶ درصد دارای بالاترین امکان تأثیر در افزایش غلظت گاز منتشر شده نسبت به چهار ریسک شناخته شده در این گروه است. بنابراین توصیه می‌شود، رسانه‌های فراگیر مانند رسانه‌های محلی و ملی با ارائه آموزش‌های متنوع و تصویرسازی‌های نوین و جذاب، بخصوص در هنگام تغییر فصل‌ها، جامعه را نسبت به مخاطرات استفاده از این سیستم و لزوم انجام بازدیدهای دوره‌ای از تجهیزات و دودکش‌ها، آگاه نمایند.

۵-۸ ارزیابی نقش بازرسان فنی گاز، مهندس ناظر و طراح تأسیسات، در امکان کاهش رخداد خطاهای دوره طراحی و**اجراء با رعایت قوانین بالاسری ساخت و ساز**

بر اساس ضوابطی که سازمان قانونی نظارت بر لوله‌کشی گاز مشترکین عمده تعیین می‌نماید، لازم است که طرح سیستم لوله‌کشی گاز به صورت نقشه (کروکی، پلان، ایزومتریک و ...) توسط طراح تهیه شود. در این نقشه‌ها بایستی تمام جزئیات مانند، قطر لوله‌ها و موقعیت و... مشخص شود. طراحی می‌تواند توسط مجری گاز انجام شود. مجری گاز: شخصی حقوقی است که دارای گواهی‌نامه صلاحیت اجرای لوله‌کشی گاز ساختمان از وزارت مسکن و شهرسازی می‌باشد. نصب وسایل گازسوز فقط در محل پیش‌بینی شده در نقشه‌های گازرسانی ساختمان که محل استقرار، نحوه هوارسانی و مشخصات دودکش آن به تایید مهندس ناظر رسیده باشد، مجاز است (مبحث ۱۷ مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹). بر اساس نظامنامه بین شرکت ملی گاز ایران و سازمان مرکزی نظام مهندسی، بازرسان گاز سازمان نظام مهندسی ساختمان، از سال ۱۳۸۲ وظیفه کنترل طراحی و نظارت بر مراحل لوله‌کشی گاز ساختمان‌ها را طبق مفاد مبحث ۱۷ مقررات ملی ساختمان به عهده دارند. بنابراین پرسش‌نامه نظرخواهی از کارشناسان طوری طراحی شد که امکان وقوع خطاهای مراحل طراحی و اجراء تأسیسات مکانیکی ساختمان‌هایی که از خدمات این گروه از مهندسان استفاده نشده است، ارزیابی شود. و سپس نقش بازرسان فنی‌گاز در کاهش رخداد همان مخاطرات ارزیابی‌شد. نتایج محاسبات فازی نشان داد، میانگین کمی، برای امکان وقوع خطاهای دوره طراحی و اجراء سیستم بدون استفاده از خدمات مهندسان طراح و ناظر تأسیسات و بازرس گاز، ۷۹/۶۶ درصد است و در ساختمان‌هایی که صرفاً از خدمات کنترل طراحی و نظارت بازرسان گاز استفاده می‌شود، میانگین امکان کاهش همان مخاطرات در دوره طراحی و اجراء به ۸۴/۹ درصد افزایش می‌یابد. عبارتی خدمات کنترل طراحی و نظارت مهندسان بازرس گاز سازمان نظام مهندسی، خلأ عدم بهره‌برداری از خدمات مهندسان ناظر و طراح تأسیسات در ساختمان‌ها را در رابطه با ریسک‌های شناخته شده در این تحقیق، پوشش می‌دهد. بایستی توجه داشت، نتایج کمی حاصل از مراحل فازی در این تحقیق، بیانگر شاخص امکانی نظریات کیفی کارشناسان می‌باشد. بنابراین برای اولویت‌بندی ریسک‌ها و دستیابی به نتایج کارآمد، استفاده از سایر روش‌های ارزیابی کمی ریسک، مانند آنالیز درخت خطا با استفاده از نتایج این تحقیق توصیه شد.

۹- نتیجه گیری:

اعزام آسیب دیدگان به مراکز درمانی بسته به تصمیم درخواست کنندگان توسط سازمان‌های مختلف مانند، آتش‌نشانی، مرکز مدیریت حوادث و فوریت‌های پزشکی، اورژانس و ... انجام می‌شود و یک سامانه مرکزی واحدی جهت ثبت کارشناسی اطلاعات و علل حوادث نشت گاز مونوکسیدکربن در استان اصفهان وجود ندارد، به همین دلیل محدودیت‌های این تحقیق عدم وجود اطلاعات آماری متناسب با ریسک‌های شناسایی شده برای تهیه بانک اطلاعاتی ضریب اهمیت ریسک‌ها بود که در این رابطه از متغیرهای کلامی نظر متخصصان در دامنه فازی استفاده شد. بنابراین پیشنهاد می‌شود سامانه مرکزی برای ثبت اطلاعات و نتایج کارشناسی دقیق آمار و علل حوادث مسمومیت با گاز مونوکسیدکربن در استان‌ها راه‌اندازی شود تا زمینه انجام مطالعات مشابهی با تشکیل بانک اطلاعاتی حاصل از سوابق حوادث در جامعه آماری بزرگتر در سطح کشور فراهم شود و نتایج بدست آمده بتوانند در سطح کلان کشور اجرا گردند. علاوه بر این، توصیه می‌شود، از بانک اطلاعاتی این تحقیق در سایر روشهای تخصصی ارزیابی ریسک مانند تحلیل درخت خطا استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد آقای سیدمحمد موسوی ریزی با عنوان «کاربرد درخت خطای فازی در ارزیابی ریسک انتشار گاز مونوکسیدکربن در خانه‌های مسکونی استان اصفهان می‌باشد. نویسندگان این مقاله مراتب تشکر خود را از حمایت و همکاری نامبردگان ذیل اعلام می‌نمایند:

۱. مهندسان و کارشناسان حوادث شرکت ملی گاز استان اصفهان،
۲. کارشناسان دفتر پژوهش شرکت ملی گاز استان اصفهان،
۳. مهندسان بازرسی فنی گاز سازمان نظام مهندسی استان اصفهان،
۴. کارشناسان حوادث سازمان آتش‌نشانی استان اصفهان،
۵. کارشناسان دفتر مطالعات و تحقیقات سازمان راه‌وشهرسازی استان اصفهان،
۶. کارشناسان دفتر مقررات ملی سازمان راه و شهرسازی استان اصفهان،
۷. کارشناسان دفتر امور پژوهش سازمان پزشکی قانونی استان اصفهان،
۸. کارشناسان مرکز اورژانس و حوادث پزشکی استان اصفهان،
۹. تعدادی از مهندسان ناظر و طراح تاسیسات سازمان نظام مهندسی استان اصفهان،
۱۰. مهندسان دفتر امور گاز سازمان نظام مهندسی استان اصفهان و دفتر نمایندگی شهرستان لنجان (زرین شهر)

این تحقیق با هدف ریشه‌یابی و ارزیابی ریسک عوامل مؤثر بر حوادث مسمومیت با گاز مونوکسیدکربن در ساختمان‌های مسکونی استان اصفهان با استفاده از روش ردیابی انرژی انجام شد. نتایج نشان داد، عملکرد یک سیستم تولید انرژی حرارتی با استفاده از دستگاه‌های مستقیم مانند آب‌گرم‌کن و بخاری گازی، تحت تأثیر انرژی‌هایی همانند جنبشی، شیمیایی و پتانسیل موجود در اجزاء سیستم است. انرژی جنبشی مهم‌ترین آنهاست که نیروی لازم برای تأمین هوای مورد نیاز سوخت در دستگاه گازسوز و هدایت محصولات احتراق به خارج از فضای ساختمان را در ونت غیر مثبت، ایجاد می‌کند. بنابراین ریسک نشت گاز مونوکسیدکربن به سمت مصرف کننده در خانه‌های مسکونی نتیجه تغییر و یا تبدیل ناخواسته این انرژی‌ها به یکدیگر است که در اثر هم‌افزایی با خطاهای انسانی موجب افزایش غلظت آن پس از نشت و رخداد حوادث گازگرفتگی بهره‌بردار می‌شود. نتایج ارزیابی ریسک‌ها نیز گویای آن بودند که خطاهای انسانی، بخصوص در دوره بهره‌برداری بیشترین عوامل مؤثر در وقوع ریسک آزاد شدن ناخواسته انرژی‌های موجود در اجزاء سیستم می‌باشد. این موضوع در نتایج سایر مطالعات مشابه نیز به چشم می‌خورد. از میان ریسک‌های شناسایی شده، ناتوانی حواس انسانی در شناسایی گاز مونوکسیدکربن منتشر شده، با مقدار ۰.۸۷۸. دارای بیشترین مقدار عددی امکان در افزایش غلظت گاز در فضای مسکونی می‌باشد، این نتایج توجه را به این موضوع معطوف میدارند که طیف وسیعی از کاربران با هر شرایط سنی، سطح تحصیل و فرهنگ در برابر مخاطرات بالفعل این سیستم قرار دارند، قطعا برای مصرف کنندگان سخت و دشوار است که برای همیشه خود را از خطا و اشتباه دور نگه دارند، البته امکان انجام کار دقیق و اشتباه وجود دارد اما بحث بر سر آن است که این شرایط را نمی‌توان بصورت مستمر و برای همیشه حفظ کرد و بهتر است سیستمی ایمن و سازگار با بهره‌بردار طراحی شود (کوهپایی، ۱۳۹۰). بر این اساس در کنار ارائه آموزش‌های مرتبط به بهره‌برداران از طریق رسانه ملی، الزام به استفاده از دستگاه آشکارساز و هشدار دهنده مونوکسیدکربن در ساختمان‌ها به عنوان حفاظ توصیه شد، اما از آنجایی که الزامات مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان بخصوص در رابطه با، انجام بازدیدهای دوره‌ای توسط بازرسی ذیصلاح امکان شناسایی دقیق و حذف کانون‌های خطر را با استفاده از ابزار قانون فراهم می‌آورد، اجرایی شدن این مبحث در کشور به عنوان مؤثرترین حفاظ در کاهش حوادث مسمومیت با گاز مونوکسیدکربن در خانه‌های مسکونی استان اصفهان توصیه شد.

۱۰- پیشنهادات

بررسی فراوانی حوادث نشت مونواکسید کربن از وسایل گازسوز در ساختمان‌های ایران و مقایسه این آمار با برخی از کشورهای توسعه یافته، بیانگر وضعیت نامطلوبی از ایمنی ساختمان‌های مسکونی در کشور است که با اهداف قوانین ساخت و ساز منطبق نیست. لذا توصیه می‌شود با استفاده از روشهای پژوهشی مختلف در این زمینه، تلاشهای بیشتری صورت گیرد تا گامهای مهمی در جهت ارتقاء ایمنی ساختمان‌ها و حفظ جان انسان‌ها برداشته شود. مراجعه به سازمان‌های مرتبط، برای جمع‌آوری اطلاعات در این پژوهش نشان داد، رسیدگی به این حوادث و

منابع

- اسدی ملردی، م.، آذرسا، م.، کبیری، ر.، ۱۳۵۸. انتشارات ملرد، چاپ اول ۱۳۹۴، تئوری حریق و خاموش کننده های دستی.
- امین شرعی، ف.، قنبری، ف.، ۱۳۸۸. دومین کنفرانس بین المللی سلامت، ایمنی و محیط زیست.
- بهبهانی. س.، دشتی، س.، ارزیابی ریسک به روش ردیابی انرژی و آنالیز موانع (ET&BA) با استفاده از Topsis در واحد فولادسازی شرکت گروه ملی صنعتی فولاد ایران، مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دوره ۵، شماره ۳، پائیز ۱۳۹۷، ص ۳۴ - ۲۵.
- بهداشت، ایمنی و محیط زیست شرکت ملی گاز ایران - راهنمای ایمنی مصرف کنندگان گاز طبیعی، شماره دستورالعمل HSE-IN-IS-114(0)-89
- پروفیسور رئوف و دهلیون، ۱۳۹۰. ترجمه دکتر محمدفام ایرج، ارزیابی کمی ایمنی، چاپ چهارم، انتشارات تهران، فن اوران.
- تارنمای رسمی سازمان پزشکی قانونی کشور، ۱۳۹۶، آمار مرگهای ناشی از مسمومیت با منواکسید کربن
<http://www.imo.ir/index.aspx?site=1&pageid=2371>
- ترابی، م.، شهرزاد، م.، ۱۳۹۴. کتاب جامع مسئولیتهای بالینی، چاپ اول، انتشارات نوروزی، گرگان.
- ترابی، م.، شهرزاد، م.، ۱۳۹۴. کتاب جامع مسئولیتهای بالینی، چاپ اول، انتشارات نوروزی، گرگان.
- جهانبانی، ز.، عطایی، م.، سرشکی، ف.، قنبری، ک.، ۱۳۹۶. نشریه علمی - پژوهشی "مهندسی معدن"، دوره دوازدهم، شماره ۳۵، تابستان ۱۳۹۶، ص ۱-۱۲.
- جهانگیر، م.، ۱۳۹۵. قوانین و مقررات مربوط به شهر و شهرداری، چاپ سی و چهارم، نشر دیدار.
- حیدری، س.، ۱۳۹۰. آموزش و تجهیز نیروی انسانی شرکت ملی گاز ایران، کتاب ایمنی گاز طبیعی در گازرسانی.
- دفتر مقررات ملی ساختمان وزارت راه و شهرسازی مبحث ۱۷ مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۹. چاپ یازدهم، تهران توسعه ایران دفتر مقررات ملی ساختمان وزارت راه و شهرسازی
- شکرزاده، م.، پورحسین، م.، نصیری نصرآبادی، ن.، ویسی، ف.، کوشکی، ز.، ۱۳۹۲، بررسی اپیدمیولوژیکی مرگهای ناشی از مسمومیت با مونوکسید کربن ارجاع شده به پزشکی قانونی استان مازندران در طی سالهای ۱۳۹۰-۱۳۸۸، مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی استان مازندران، دوره ۲۳، شماره ۹۹ - ۱۳۹۲-۱، ص ۸۶-۹۹.
- طاهریون، م.، بهرامی، م.، مرادی نژاد، ص.، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال دهم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۳.
- کوهپایه‌ع.ر.، هاشم، س.، اعلائی، ا.، ۱۳۹۰. مهندسی ایمنی فرآیند (با رویکرد طراحی ذاتا ایمن)، چاپ دوم، انتشارات فن‌آوران.
- مبحث ۲۲ مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲. مراقبت و نگهداری از ساختمان، چاپ یازدهم، تهران توسعه ایران دفتر مقررات ملی ساختمان وزارت راه و شهرسازی.
- مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵. نتایج طرح آمارگیری از مصرف حامل‌های انرژی و ویژگی‌های محیط زیستی خانوارهای شهری، زمان انتشار: ۲۷ اسفند ۱۳۹۶.
<https://www.amar.org.ir/news/ID/5320>
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شماره نشر ۵۴۱، ۱۳۹۰ چاپ اول، راهنمای طراحی و اجرای دودکش‌های ساختمان.
- مرکز مدیریت حوادث و فوریت‌های پزشکی استان اصفهان، واحد روابط عمومی، گزارش عملکرد ۱۳۹۵ و ۱۳۹۴، [Ems.mui.ac.ir/sites/ems.mui.ac.ir/.../ESFAHAN%20EMS1395pdf](https://ems.mui.ac.ir/sites/ems.mui.ac.ir/.../ESFAHAN%20EMS1395pdf)
- میرزا، س.، جعفری، م.ج.، امیدواری، م.، میری لواسانی، م.ر.، ۱۳۹۳. مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها، دوره ۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳، ص ۱۱۳-۱۲۳.
- نوفرستی، ج.، راهکارهای اصلی اصلاح الگوی مصرف گاز در ساختمان، مجله اقتصاد انرژی، آذر ۱۳۸۸، شماره ۱۲۱، ص ۵۷ - ۵۲.
- نیکلاس ژ. باهر.، ۱۳۸۲. ترجمه حجت‌الله رضازاده مهندسی ایمنی سیستم و ارزیابی ریسک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر پلی تکنیک تهران، مرکز نشر.
- ویسی، ف.، کوشکی، ز.، ۱۳۹۲. دفتر مطالعات اجتماعی و نیز مطالعات انرژی صنعت و معدن مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، شیوع مرگ و میر در اثر مسمومیت با گاز منواکسید کربن، <http://rc.maglid.ir/fa/newse/show/8pipe45961>
- هاشمی نژاد، ن.، محمدفام، ا.، جعفری ندوشن، ر.، درتاج رابری، ا.، کاکایی، ح.، کاکایی، ح.، فصلنامه علمی تخصصی طب کار دوره چهارم، شماره اول و دوم، بهار و تابستان، ۱۳۹۱، ص ۲۵.
- Am J Emerg Med. 2015 Sep; 33(9):1140-5. doi: 10.1016/j.ajem.2015.05.002. Epub 2015 May Carbon monoxide poisoning deaths in the United States, 1999 to 2012. Sircar K1, Clower J2, Shin MK3, Bailey C4, King M5, Yip F4.
- Chen S.J. and Hwang C.L., 1992. "Fuzzy Multiple Attribute Decision Making", 1st Ed. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg, Germany, ISBN:3-540-54998-6.
- Christopher R Henry, Daniel Satran, Bruce Lindgren, Cheryl Adkinson, Caren I Nicholson, Timothy D Henry, 2006/1/25, Jama, Volume 295, Issue 4, Pages 398-402, Publisher American Medical Association
- Cornelissen A, Van Den Berg J, Koops W, Kaymak U. Elicitation of expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. Agriculture.

- Ericson A. 2005. Hazard Analysis Techniques for System Safety, Third edition. new jersey: wiley & sons ; 335-351.
- Lahijanian H. 2000. Safety System, first edition .Tehran: Iran University of science & Technology; 25-48.
- Mandal S, Maiti J.2014. Risk analysis using FMEA: fuzzy similarity value and possibility theory based approach. *Exp Syst Appl*; 41(7):3527-37. DOI: 10.1016/j.eswa.2013.10.058
- Nurmi H, Approaches to collective decision making with Fuzzy preference relations. *Fuzzy sets and systems*. 1981, 6(3): 249-59.
- Onisawa T. 1990. An application of fuzzy concepts to modelling of reliability analysis. *Fuzzy sets and Systems*.;37(3):267-86
- OSHA standard for Preventive Maintenance Systems, Title 29 Code of Federal Regulations (CFR)Part 19. available at :<http://www.osha.gov/SLTC/etools/safetyhealth/comp3.html>
- Rahmani S, Omidvari M. 2016. Assessing safety risk in electricity distribution processes using ET & BA improved technique and its ranking by VIKOR and TOPSIS models in fuzzy environment. *Health Saf Work*.;6(1):1-2. [Persian]
- Renjith V, Madhu G, Nayagam V, Bhasi A. 2010. Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using expert elicitation. *Journalof hazardous materials*.;183(1):103-10
- Shapiro, A.F., 2004. Fuzzy logic in insurance. *Insurance: Mathematics and Economics*, 35, pp. 399–424
- Steven S. Yoon, ScD, MPH; Steven C. Macdonald, PhD, MPH; R. Gibson Parrish, MD JAMA. 1998. 279(9):685-687. doi:10.1001/jama.279.9.685
- Yaqiong L, Man Lk, zhang W. Fuzzy theory applied in quality management of distributed manufacturing system: a literature review and classification. *Eny Appl Artificial Intelling*. 2011: 24(2)266 -77. DOI: 10.1016/j.engeppai, 2010.10.008.
- Zaroushani V, Varriani AS, Ayati SA, Nikpey A. 2010. Riskassessment in a foundry unit by energy trace and barrieranalysis method (ET&BA). *Iran Occup Health*.;6(4):714. [Persian]