ارتقاء روش فرانک و مورگان برای ارزیابی ریسک حریق صنعتی

رستم گلمحمدی[۱] - ایرج محمدفام[۱]- مسعود شفیعی مطلق[۲]* - جواد فردمال[۳]

hse.masoudshafii@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۶

چکیده

مقدمه: هرسال در سراسر دنیا تعداد زیادی از انسان‌ها بر اثر آتش سوزی در محیط‌های صنعتی جان خود را از دست می‌دهند یا دچار جراحات و صدمات بسیار جدی می‌شوند. هدف این مطالعه ارزیابی ریسک حریق با استفاده از یک روش مناسب و تعیین سرمایه‌های در معرض خطر جانی، مالی و زیست محیطی در واحدهای مختلف یک شرکت مواد شیمیایی می‌باشد.

روش کار: در این مطالعه تحلیلی، ارزیابی ریسک حریق در کلیه واحدهای یک شرکت مواد شیمیایی به روش فرانک و مورگان ارتقاء یافته انجام شد. روایی چک لیست‌های ارتقاء یافته توسط خبرگان تایید و پایایی آن‌ها توسط روش test retest بررسی گردید. خسارات احتمالی جانی، مالی و زیست محیطی در صورت بروز آتش سوزی محاسبه شد. ریسک همه واحدها محاسبه و بر اساس آن کلیه واحدها اولویت‌بندی گردیدند.

یافته ها: بررسی پایایی چک لیست‌های ارتقاء یافته نشان می‌دهد بین نتایج دو بار اندازه‌گیری انجام شده تطابق (همگنی) بالایی وجود دارد(ICC=0.87; %95CI: 0.699-0.952). میانگین عدد ریسک کلیه واحدها ۱۱۵/۴۵ بود که واحد تحقیق و توسعه و انبار قطعات به ترتیب دارای بیشترین و کمترین عدد ریسک بودند. سرمایه‌های جانی، مالی و سرمایه‌های زیست محیطی در معرض خطر به ترتیب بیشترین تا کمترین امتیازات را داشتند.

نتیجه گیری: نتایج نشان داد روش فرانک و مورگان ارتقاء یافته می‌تواند برای ارزیابی ریسک حریق صنعتی و اولویت‌بندی واحدها در سطح کل یک مجموعه صنعتی به خصوص کارخانجات مواد شیمیایی مناسب باشد. بر اساس نتایج این مطالعه خسارات احتمالی به محیط زیست در صورت بروز آتش سوزی اهمیت بالایی دارد.

کلمات کلیدی: *ارزیابی ریسک، حریق، فرانک و مورگان، صنایع شیمیایی*

۱- دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان
۲- کارشناس گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان
۳- استادیار گروه آمار زیستی و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان

مقدمه

یکی از آرمان‌ها و اهداف سازمان بهداشت جهانی در اهداف توسعه هزاره (MDGs) دست یافتن به اشتغال و کار سالم برای همه می‌باشد (WHO). بر اساس آمار سازمان جهانی بهداشت سالانه بیش از ۳۰۰۰۰۰ مرگ در اثر سوختگی ناشی از آتش سوزی اتفاق می‌افتد و بیش از ۹۵ درصد سوختگی‌های مربوط به آتش سوزی در کشورهایی با درآمد متوسط و کم اتفاق می‌افتد (WHO, 2008). بیشترین آمار مرگ و میر ناشی از آتش سوزی در کشورهای جنوب شرقی آسیا (۱۱/۶ مرگ به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت در سال)، شرق مدیترانه (۶/۴ مرگ به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت در سال) و آفریقا(۶/۱ مرگ به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت در سال) می‌باشد (WHO, 2008). طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ در کانادا میزان تلفات ناشی از حریق ۱/۲۵ نفر در هر ۱۰۰۰۰۰ جمعیت بوده است (Yung, 2008). در طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ در ایالات متحده آمریکا سالانه ۱۶ تا ۴۵ مورد حریق خیلی بزرگ که منجر به خسارات و تلفات زیادی شده رخ داده است (Badger, 2011). بر طبق آمار منتشره توسط انجمن ملی حفاظت در برابر حریق آمریکا (NFPA)، در سال ۲۰۱۰ تقریباً ۱۳۳۱۵۰۰ مورد حریق در ایالات متحده آمریکا اتفاق افتاده است که منجر به مرگ ۳۱۲۰ نفر و مجروح شدن ۱۷۷۲۰ نفر شده و خسارت مستقیم ناشی از این حریق‌ها ۱۱/۶ میلیارد دلار بوده است (Badger, 2011, Golmohamadi, 1391, Michael and Karter, 2010). این ارقام محافظه کارانه می‌باشد و شامل بسیاری از هزینه‌های غیرمستقیم مثل دادخواهی، بررسی حادثه و دیگر هزینه‌های تحمیل شده به جامعه نیست (L.Brauer, 2006). در انگلستان در سال ۱۹۹۶ بیش از ۵۳۲۰۰۰ مورد آتش سوزی رخ داد که یک سوم آن در محیط‌های کاری بوده و باعث بیش از ۶۰۰ مورد مرگ و ۱۶۰۰۰ جراحت افراد شده است (Golmohamadi, 1391). در ایران طبق بررسی‌های انجام شده در دهه ۷۰ شمسی، هر سال بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ مورد آتش سوزی به ازای هر یک میلیون نفر در شهرهای کشور رخ داده است که بسیاری از آن‌ها در محیط‌های کاری بوده است (Golmohamadi, 1391). آمار نشان می‌دهد که حریق‌های بزرگ معمولاً برای اولین بار و بدون پیش آگهی و علایم ملموسی برای ساکنین و شاغلین، رخ داده است، در حالی که طبق بررسی‌های انجام شده حداقل ۷۵ درصد از موارد حریق قابل پیشگیری می‌باشند (Golmohamadi, 1391). در نتیجه مدیریت ریسک حریق در جهت جلوگیری از بروز و گسترش حریق و به منظور افزایش سطح ایمنی کلیه افراد جامعه از جمله شاغلین صنعتی در برابر صدمات ناشی از حریق یکی از موضوعات بسیار مهم جوامع بشری در سراسر دنیا می‌باشد.

ارزیابی ریسک حریق فرایندی برای تخمین و محاسبه ریسک حریق است که همراه با بررسی احتمال وقوع و شدت خسارات ناشی از بروز حریق می‌باشد و برای تعیین معیار تصمیم گیری، یک حد قابل قبول ریسک در آن تعریف می‌شود (Rose *et al.*, 2007). امروزه از روش‌های مختلف ارزیابی ریسک برای تعیین حدود مخاطرات ناشی از بار حریق استفاده می‌شود که به طور کلی نتایج ارزیابی ریسک حاصل از این روش‌ها به صورت کیفی، نیمه کمی و کمی می‌باشد. روش‌های کیفی شامل SCA, PHA, DOW, MOND, HAZOP, WHAT-IF وجود دارد (Yan-boa *et al.*, 2011). روش‌های نیمه کمی نظیر NFPA101M (NFPA, 1995)،

روش SIA81 (Fontana, 1984)، روش شاخص ریسک حریق (Fitzgerald Robert, 1994) و روش Gustave (Weicheng *et al.,* 2006) وجود دارد. روش‌های کمی نظیر-L curve CrispII, FIRE, CAMTM, CESRE-Risk, ETA, FTA و روش ریاضی فازی وجود دارد (Weicheng *et al.,* 2006). یکی از روش‌های ارزیابی ریسک حریق، روش فرانک و مورگان است که قادر است علاوه بر تعیین حدود مخاطرات ناشی از بار حریق، با دخالت دادن فاکتورهای زیادی در محاسبه ریسک، قسمت‌های مختلف یک واحد صنعتی را برای برنامه‌ریزی مدیران در جهت تخصیص منابع لازم جهت کاهش ریسک حریق، به نحو مطلوبی اولویت بندی نماید (L.Brauer, 2006).

هدف این مطالعه ارزیابی ریسک حریق با استفاده از یک روش مناسب و تعیین سرمایه‌های در معرض خطر جانی، مالی و زیست محیطی در واحدهای مختلف یک شرکت مواد شیمیایی می‌باشد که بر این اساس اولویت‌بندی واحدها جهت تخصیص منابع مالی و انسانی به طور مناسب و لازم جهت رسیدن به حداکثر کاهش ریسک صورت می‌گیرد.

روش کار

در این مطالعه تحلیلی-کاربردی ارزیابی ریسک حریق در کلیه واحدهای یک شرکت مواد شیمیایی به روش فرانک و مورگان ارتقاء یافته انجام شد. ارزیابی ریسک با تاکید بر پارامترهای موثر در ریسک حریق مد نظر قرار گرفت (L.Brauer, 2006). ریسک فاکتورهای موجود در چک لیست خطر و چک لیست کنترل روش فرانک و مورگان به نحو مطلوبی پارامترهای موثر در ارزیابی ریسک حریق صنعتی را پوشش نمی‌داد در نتیجه تغییراتی در پارامترهای گروه و زیر گروه خطر و کنترل و همچنین در امتیازات آن‌ها ایجاد گردید. تغییرات بر اساس راهنمایی‌ها و قوانین و مقررات سازمان حفاظت در برابر حریق آمریکا به عنوان موسسه علمی فراملیتی و سایر کتب مرجع صورت گرفت (NFPA, 2002, Golmohamadi, 1391, L.Brauer, 2006).

در روش فرانک و مورگان توسعه یافته، تعدادی از موارد زیر گروه‌های چک لیست خطرات و کنترل‌های به کار گرفته شده و فاکتور گروه‌ها و زیر گروه‌ها تغییر داده شد. به عنوان مثال در گروه "آتش سوزی / پتانسیل انفجار" زیر گروه "نقطه اشتعال مواد قابل اشتعال پایین بوده و موارد یاد شده بسیار حساسند." تصحیح گردید و برای درک بهتر و رفع اختلاف نظر افراد مختلفی که چک لیست را پر می‌کنند به صورت کمی بیان شد. " نقطه اشتعال(نقطه شعله زنی) مواد قابل اشتعال پایین‌تر از ۱۰۰ درجه فارنهایت (۳۷/۸ درجه سانتی‌گراد) بوده و موارد یاد شده بسیار حساسند." همچنین به جهت این‌که چک لیست‌ها کلیه خطرات موجود در واحدهای صنعتی را با تاکید بر پارامترهای موثر در ریسک حریق پوشش دهند مواردی به زیر گروه‌ها اضافه گردید به عنوان مثال در گروه فوق الذکر، زیر گروه " امکان ریزش و پاشش مواد قابل اشتعال در واحد هنگام انتقال، جابجایی، تعمیرات و... وجود دارد" اضافه شد.

نمونه‌ای از چک لیست خطر توسعه یافته در جدول ۱ نشان داده شده است.

پس از این‌که چک لیست‌های خطر و کنترل تغییر داده شدند، برای تایید روایی

جدول ۱: نمونه‌ای از چک لیست خطر توسعه یافته

گروه خطرات	فاکتور گروه خطر	امتیاز زیر گروه	زیر گروه
آتش سوزی / پتانسیل انفجار	۱۴	۲	مواد قابل اشتعال موجود در واحد متنوع می‌باشند.
		۳	مواد قابل اشتعال موجود در واحد به جای این‌که در یکجا متمرکز شده باشند، اغلب پراکنده‌اند و حجم بالایی از مواد قابل اشتعال در واحد (بیش از $50\ kg/m^2$) ذخیره شده‌اند.
		۳	اغلب مواد قابل اشتعال در حالت معمول به شکل بخار یا گرد و غبار هستند.
		۲	امکان ریزش و پاشش مواد قابل اشتعال در واحد هنگام انتقال، جابجایی، تعمیرات و... وجود دارد.
		۲	خطوط(لوله‌های) انتقال مواد قابل اشتعال و مخازن به طور کامل ایزوله نیستند و ممکن است در شرایط اضطراری نظیر زلزله، فشار بحرانی سیستم و ... شکسته شده و مواد قابل اشتعال به‌راحتی در واحد پخش شوند.
		۲	نقطه اشتعال(نقطه شعله زنی) مواد قابل اشتعال پایین‌تر از ۱۰۰ درجه فارنهایت (۳۷/۸ درجه سانتی‌گراد) بوده و موارد یاد شده بسیار حساسند.
		۱	در فرایند کار مواد قابل اشتعال گرم شده و در دماهای بالاتر از نقطه اشتعال‌شان(نقطه شعله‌زنی) مورد استفاده قرار می‌گیرند.
		۱	پسماندهای خطرناک حاوی مواد قابل اشتعال دارای مکان مناسب و مشخصی نیستند یا در ظروف نامناسبی نگهداری می‌شوند.
		۱	قسمت‌های ساختمانی مانند دیوارها، پایه‌ها، ستون‌ها، سقف‌ها و کف‌ها دارای موادی با قابلیت احتراق می‌باشند یا در برابر آتش مقاومت چندانی ندارند.
		۳	عملیات تعمیر و نگهداری سیستم‌ها(نظیر جوشکاری) گاهی اوقات در حین جریان داشتن فرایند تولید صورت می‌گیرد.

چک لیست‌ها و تعیین امتیازات هر یک از گروه‌ها و زیر گروه‌ها، با استفاده از روش دلفی، نظرات خبرگان و افراد صاحبنظر در این زمینه جمع آوری گردید (Skulmoski *et al.*, 2007, Okoli and Pawlowski, 2004) تمامی خبرگان روایی چک لیست‌ها را تایید نمودند و در نهایت امتیازاتی که توسط خبرگان و افراد صاحبنظر به گروه‌ها و زیر گروه‌ها داده شده بود با استفاده از شاخص آماری مد جمع بندی و امتیازات هر یک از گروه‌ها و زیر گروه‌ها تعیین گردید. پایایی چک لیست‌ها از طریق روش باز آزمایی (test retest) مورد تایید قرار گرفت.

تعیین کل سرمایه در معرض خطر هر واحد: مجموع سرمایه‌های در معرض خطر به شرح زیر محاسبه گردید:

سرمایه‌های مادی در معرض خطر: برای محاسبه سرمایه‌های مادی در معرض خطر هزینه‌های جایگزینی کلیه موارد و تجهیزات در معرض ریسک هر واحد تخمین زده شد. همچنین خسارت متوقف شدن فعالیت هر واحد از حاصل‌ضرب موارد زیر به‌دست آمد:

- ارزش واحد کالای تولیدی
- ظرفیت تولید واحد در هر سال
- درصد ظرفیت مورد انتشار در سال

سرمایه‌های جانی در معرض خطر: برای محاسبه سرمایه‌های جانی در معرض خطر تعداد کارگران واحد در شلوغ‌ترین نوبت کاری در ارزش زندگی هر فرد(دیه یک فرد سالم) ضرب گردید. در روش فرانک و مورگان توسعه یافته، برای تعیین کل سرمایه در معرض خطر، علاوه بر خسارت اموال و تجهیزات، خسارت متوقف شدن فعالیت هر واحد و ارزش جان کارکنان، خسارات زیست محیطی نیز اضافه گردید.

جدول ۲: طبقه بندی سرمایه‌های مالی در معرض خطر

امتیاز	خسارات مالی (ریال)
۱۰	$X \leq ۱۰^{۹}$
۲۰	$۱۰^{۹} \leq X \leq ۱۹\times۱۰^{۹}$
۳۰	$۱۹\times۱۰^{۹} \leq X \leq ۳۸\times۱۰^{۹}$
۴۰	$۳۸\times۱۰^{۹} \leq X \leq ۵۷\times۱۰^{۹}$
۵۰	$X \leq ۵۷\times۱۰^{۹}$

با توجه به محدودیت‌هایی زیادی که برای ارزیابی سرمایه‌های در معرض خطر زیست محیطی وجود داشت فقط خسارات وارده به هوا در صورت بروز آتش سوزی در هر واحد مورد ارزیابی قرار گرفت؛ بدین صورت که بر اساس زنجیره کربن و مقدار مواد شیمیایی موجود در هر واحد با فرض این‌که ماده مورد نظر به طور کامل بسوزد و زنجیره کربنی به طور کامل شکسته شود، در صورت سوختن هر ماده‌ای، به هر میزان که کربن داشته باشد در قالب ترکیباتی نظیر CO و CO_2 وارد هوا می‌شود. (CAREY and SUNDBERG, 2007) در نهایت با توجه به این‌که براساس استانداردهای زیست محیطی هر تن کربن که وارد هوا شود مالیات مشخصی دارد، در نتیجه سرمایه‌های در معرض خطر زیست محیطی برای هر واحد محاسبه می‌شود (Gonzalez, 2012).

در روش ارزیابی ریسک فرانک و مورگان توسعه یافته برای هر یک از موارد سرمایه‌های در معرض خطر جانی، مالی و زیست محیطی حدود مشخصی به صورت کیفی تعریف و امتیاز دهی گردید؛ بدین ترتیب که بر اساس طبقه بندی انجام شده بیشترین امتیاز به بیشترین هزینه در هر یک از موارد تعلق می‌گیرد. در جدول ۲ نمونه‌ای از این طبقه بندی‌ها ارایه شده است.

برای تعیین کل سرمایه در معرض خطر با در نظر گرفتن این موضوع که میزان اهمیت و تبعات اجتماعی سرمایه‌های در معرض خطر جانی، مالی و زیست محیطی یکسان نمی‌باشد با استفاده از روش مقایسه زوجی و مصاحبه با خبرگان و افراد صاحبنظر در این زمینه، هر یک از موارد فوق اولویت بندی گردیدند و برای هر یک از آن‌ها وزنی محاسبه گردید که بر اساس فرمول زیر کل سرمایه در معرض خطر محاسبه می‌شود (Dalalah *et al.,* 2010).

$$\text{Composite Exposure} = 0.7\times PES + 0.15\times PBIS + 0.15\times EES$$
$$EES = CCLS + MQS$$

PES: امتیاز سرمایه‌های جانی در معرض خطر

PBIS: امتیاز سرمایه‌های مالی در معرض خطر

EES: امتیاز سرمایه‌های زیست محیطی در معرض خطر

CCLS: امتیاز زنجیره کربنی مواد

MQS: امتیاز میزان مواد کربن دار

محاسبه ریسک کلی برای هر واحد: برای محاسبه ریسک کلی هر واحد که به نوعی ارزش اقتصادی ریسک نسبی هر واحد را نشان می‌دهد، کل سرمایه درمعرض خطر یک واحد در درصد شاخص ریسک نسبی ضرب گردید.

رده بندی واحدها براساس نمره کلی هر واحد: واحدهای مختلف کارخانه بر اساس ریسک هر یک از واحدها رده‌بندی گردیدند. واضح است واحدهایی که در رده‌های اول قرار گرفتند مهم‌تر

جدول۳: اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه ریسک واحدها

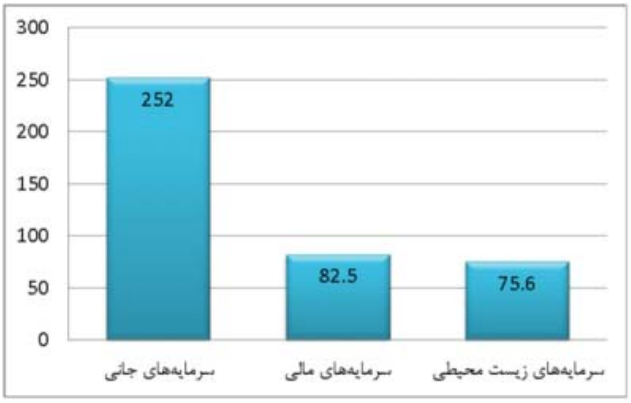
ردیف	واحد مورد نظر	امتیاز خطرات	امتیاز کنترل‌ها	امتیاز سرمایه‌های جانی	امتیاز سرمایه‌های مالی	امتیاز سرمایه‌های زیست محیطی	
						تعداد زنجیره کربنی	مقدار ماده (Kg)
۱	همکف فراپل	۷۲۴	۲۹۰	۲۰	۴۰	۱۰	۲۴
۲	اول فراپل	۶۷۲	۱۷۸	۱۰	۴۰	۶	۱۶
۳	دوم فراپل	۷۴۰	۲۱۱	۲۰	۴۰	۶	۱۶
۴	سوم فراپل	۷۱۶	۲۴۷	۲۰	۵۰	۸	۲۴
۵	آزمایشگاه فراپل	۷۵۵	۱۶۲	۳۰	۲۰	۴	۸
۶	همکف فراپایه	۷۸۸	۲۱۸	۲۰	۲۰	۱۰	۱۶
۷	اول فراپایه	۷۴۸	۱۸۲	۱۰	۲۰	۶	۱۶
۸	دوم فراپایه	۷۱۶	۱۹۷	۲۰	۲۰	۶	۱۶
۹	سوم فراپایه	۶۵۲	۲۲۳	۲۰	۳۰	۸	۱۶
۱۰	تحقیق و توسعه	۸۲۳	۱۸۲	۴۰	۴۰	۴	۸
۱۱	مخازن UT50	۴۸۹	۱۴۸	۱۰	۲۰	۴	۴۰
۱۲	انبار محصول	۶۸۴	۲۴۰	۱۰	۵۰	۶	۳۲
۱۳	مخازن استایرن	۶۲۲	۲۹۹	۲۰	۳۰	۴	۴۰
۱۴	سوله فرانسیم	۴۳۷	۱۷۴	۱۰	۲۰	۲	۳۲
۱۵	انبار بشکه‌ها	۵۱۴	۲۳۰	۱۰	۲۰	۱۰	۱۶
۱۶	سوله جامدات	۴۹۵	۱۷۷	۲۰	۳۰	۶	۴۰
۱۷	انبار قطعات	۲۸۹	۲۰۴	۲۰	۱۰	۲	۸
۱۸	بشکه پر کنی	۵۷۰	۱۹۲	۲۰	۲۰	۶	۸
۱۹	کارگاه تاسیسات	۴۴۳	۱۲۹	۲۰	۱۰	۲	۸
۲۰	پساب سوز	۶۰۲	۲۱۱	۱۰	۲۰	۲	۸

محسوب شده و در اجرای اقدامات اصلاحی جهت کاهش ریسک حریق در اولویت هستند.

یافته ها

بررسی پایایی چک لیست‌های ارتقاء یافته نشان می‌دهد بین نتایج دو بار اندازه‌گیری انجام شده تطابق(همگنی) بالایی وجود دارد (ICC=0.83; %95CI: 0.699-0.952). بر اساس داده‌های جمع آوری شده از واحدهای مختلف، واحد تحقیق و توسعه بیشترین نمره خطر (۸۲۳ از حداکثر نمره قابل اکتساب ۱۰۰۰) را در مقابل واحد انبار قطعات داشته که کمترین نمره خطر را داشته است. واحد مخازن استایرن بیشترین نمره کنترل (۲۹۹ از حداکثر نمره قابل اکتساب ۱۰۰۰) را در مقابل واحد کارگاه تاسیسات داشته که کمترین نمره کنترل را داشته است. جدول ۳ خلاصه‌ای از اطلاعات جمع آوری شده جهت ارزیابی ریسک واحدهای کارخانه توسط روش فرانک و مورگان توسعه یافته را نشان می‌دهد.

مجموع امتیازات سرمایه‌های در معرض خطر جانی، مالی و زیست محیطی در کلیه واحدهای کارخانه بعد از اعمال وزن‌های به‌دست آمده از مصاحبه با خبرگان در نمودار ۱ نشان داده شده است. بعد از اعمال وزن‌ها، سرمایه‌های در معرض خطر جانی اولویت اول، مالی دوم و زیست محیطی سوم را از آن خود کرد. بر اساس نتایج این مطالعه واحد تحقیق و توسعه دارای بیشترین عدد ریسک بود و اولویت اول جهت اختصاص منابع لازم برای کاهش ریسک را به خود اختصاص داد و واحدهای دیگر به ترتیب اولویت جهت کاهش



شکل ۱: مقایسه مجموع امتیازات سرمایه‌های در معرض خطر واحدها بعد از اعمال‌وزن‌ها

جدول۴: ریسک کلی و رده‌بندی واحدها

ردیف	واحد مورد نظر	شاخص ریسک	ریسک نسبی	درصد ریسک نسبی	سرمایه‌های در معرض خطر	ریسک کلی	رده بندی
۱	تحقیق و توسعه	-۶۴۱	۵۵۶	۸/۳۳	۳۵/۸	۲۹۸/۲	۱
۲	دوم فراپل	-۵۲۹	۴۴۴	۶/۶۵	۲۳/۳	۲۴۸/۱۱	۲
۳	آزمایشگاه فراپل	-۵۹۳	۵۰۸	۷/۶۱	۲۵/۸	۱۹۶/۳۵	۳
۴	دوم فراپایه	-۵۱۹	۴۳۴	۶/۵۰	۲۰/۳	۱۷۷/۵	۴
۵	سوم فراپل	-۴۶۹	۳۸۴	۵/۷۵	۲۶/۳	۱۵۱/۳	۵
۶	همکف فراپل	-۴۳۴	۳۴۹	۵/۲۳	۲۵/۱	۱۳۱/۲۳	۶
۷	کارگاه تاسیسات	-۳۱۴	۲۲۹	۳/۴۳	۱۷	۱۳۰/۳۷	۷
۸	سوم فراپایه	-۴۱۹	۳۳۴	۵	۲۲/۱	۱۱۰/۵۸	۸
۹	انبار محصول	-۴۴۴	۳۵۹	۵/۳۸	۲۰/۲	۱۰۸/۶۴	۹
۱۰	همکف فراپایه	-۵۷۰	۴۸۵	۷/۲۷	۲۰/۹	۱۰۱	۱۰
۱۱	اول فراپل	-۴۹۴	۴۰۹	۶/۱۳	۱۶/۳	۹۹/۸۸	۱۱
۱۲	اول فراپایه	-۵۶۶	۴۸۱	۷/۲۱	۱۳/۳	۹۵/۸۴	۱۲
۱۳	مخازن استایرن	-۳۲۳	۲۳۸	۳/۵۷	۲۵/۱	۸۹/۵	۱۳
۱۴	سوله جامدات	-۳۱۸	۲۳۳	۳/۴۹	۲۵/۴	۸۸/۶۶	۱۴
۱۵	بشکه پر کنی	-۳۷۸	۲۹۳	۴/۳۹	۱۹/۱	۸۳/۸۴	۱۵
۱۶	مخازن UT50	-۳۴۱	۲۵۶	۳/۸۴	۱۶/۶	۶۳/۶۶	۱۶
۱۷	پساب سوز	-۳۹۱	۳۰۶	۴/۵۸	۱۱/۵	۵۲/۷۲	۱۷
۱۸	انبار بشکه‌ها	-۲۸۴	۱۹۹	۲/۹۸	۱۳/۹	۴۱/۴۴	۱۸
۱۹	سوله فرانسیم	-۲۶۳	۱۷۸	۲/۶۷	۱۵/۱	۴۰/۲۷	۱۹
۲۰	انبار قطعات	-۸۵	۰	۰	۱۷	۰	۲۰

ریسک در جدول ۴ آورده شده‌اند. واحدی که کمترین اولویت را در بین واحدهای دیگر جهت کاهش ریسک داشت، انبار قطعات بود. بیشترین و کمترین درصد شاخص ریسک به ترتیب متعلق به واحد آزمایشگاه فراپل و انبار قطعات بود.

بحث

بر اساس نتایج، چک لیست‌های خطر و کنترل روش فرانک و مورگان توسعه یافته دارای پایایی مناسبی بودند. یافته‌های این مطالعه و نظرات خبرگان و افراد صاحب نظر روایی چک لیست‌های

خطر و کنترل و در مجموع روش فرانک و مورگان توسعه یافته را تایید نمودند. در همه واحدهایی که مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند امتیاز چک لیست خطرات، بیشتر از چک لیست کنترل می‌باشد و این نشان دهنده آن است که کنترل‌های به کار رفته در این واحدها کمتر از خطرات موجود می‌باشد و باید اقدامات کنترلی جهت کاهش ریسک واحدها صورت گیرد. برای اجرای اقدامات کنترلی توصیه می‌شود مواردی که در چک لیست خطرات برای هر واحد مشخص شده‌اند تا حد امکان کنترل شوند و مواردی که در چک لیست کنترل در هر واحدی موجود نمی‌باشند تا حد امکان برای واحد مورد نظر تامین گردند. همان طور که در نمودار ۱ نشان داده شده است، بعد از اعمال وزن‌ها، سرمایه‌های در معرض خطر جانی اولویت اول، مالی دوم و زیست محیطی در رتبه سوم قرار گرفتند که سرمایه‌های در معرض خطر مالی و زیست محیطی تفاوت کمی با یکدیگر داشتند که این نشان از اهمیت بالای خسارات زیست محیطی در صورت آتش سوزی داشت. به نوعی می‌توان گفت که وزن‌های تعریف شده برای قسمت تعیین سرمایه‌های در معرض خطر جانی، مالی و زیست محیطی با توجه به تبعات اجتماعی هر یک از این موارد یکی از نقاط قوت روش فرانک و مورگان توسعه یافته است. به نظر می‌رسد ارزیابی خسارت احتمالی وارده به هوای محیط زیست در صورت بروز آتش سوزی در هر واحدی می‌تواند یکی از نقاط قوت این مطالعه باشد. در مطالعه‌ای که جهت ارزیابی ریسک حریق در مجاری عرضه سوخت گاز فشرده طبیعی در شهر تهران توسط نوری و همکاران انجام شد از روش FMEA و Williams–Fine استفاده کردند که در روش ویلیام فاین توجیه هزینه اصلاح خطر هم در ارزیابی ریسک گنجانده شده است و به نوعی این قسمت از روش ویلیام فاین شبیه قسمت تعیین سرمایه‌های در معرض خطر روش فرانک و مورگان می‌باشد ولی هزینه‌های زیست محیطی ناشی از خطرات دیده نشده است (Nouri *et al.,* 2010).

اغلب روش‌های ارزیابی ریسک حریق صنعتی برای ارزیابی یک فرایند خاص که جزیی از فرایند کلی یک مجموعه تولیدی می‌باشد مناسب هستند و برای ارزیابی ریسک واحدهای مختلف، به صورت کلی که بتوان تمامی واحدهای یک شرکت را در شرایط یکسان با یکدیگر مقایسه و اولویت بندی نمود، دارای نتایج فراگیر نمی‌باشند، این در حالی است که روش فرانک و مورگان توسعه یافته با در نظر گرفتن سرمایه‌های در معرض خطر در هر واحد نظیر سرمایه‌های مالی، جانی و زیست محیطی نتایج مطلوبی را برای اولویت بندی واحدهای یک مجموعه تولیدی ارایه می‌کند. بر اساس بررسی‌های انجام شده تاکنون در سطح جهان مطالعات زیادی جهت ارزیابی و مدیریت ریسک حریق صورت گرفته است که اغلب آن‌ها بر روی قسمت خاصی تمرکز داشته‌اند، از جمله درمطالعه‌ای برای ارزیابی ریسک نشت مواد شیمیایی از مدل ارزیابی کمی احتمال آتش سوزی، انفجار و مسمومیت (FEPQPM) استفاده کردند که در این گونه مطالعات فقط رویداد نشت مواد شیمیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (Si *et al.,* 2012). در مطالعه‌ای دیگر برای ارزیابی ریسک انبارهای مهمات از روش شناسایی خطرات و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده نمودند که تمرکز اصلی این روش بر روی فاکتورهای موثر در خطر بروز حریق در واحد انبار مهمات بوده است (Shaoyun, 2012). در مطالعه‌ای دیگر برای ارزیابی ریسک واحدهایی نظیر تولید، انبار سازی

و تخلیه در تاسیسات ساحلی از روش‌های ارزیابی کمی ریسک استفاده کردند (Paika *et al.*, 2011). در مطالعه‌ای دیگر نیز که برای ارزیابی ریسک مخازن بنزین در یکی از نواحی صنعتی پر ازدحام جمهوری چک انجام شد، روش HAZOP ،IAEAT-ECDOC-727 (روشی مبتنی بر شیوه DOW) و ETA را پیشنهاد کردند (Bernatik and Libisova, 2004). با توجه به این‌که در روش فرانک و مورگان هدف اصلی اولویت بندی واحدها است، در نتیجه میزان کربن مواد مبنایی برای ارزیابی خسارات احتمالی به محیط زیست قرار گرفت، با فرض این‌که مواد به طور کامل بسوزند و زنجیره کربنی آن‌ها به طور کامل شکسته شود. فرضی که برای این قسمت در نظر گرفته شده است با مبنا و ماهیت روش فرانک و مورگان مطابقت دارد، زیرا در این روش برای ارزیابی خسارات مالی و جانی بدترین حالت ممکن در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال برای ارزیابی خسارات جانی تعداد افراد هر واحد در شلوغ‌ترین شیفت در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین فرض کامل سوختن مواد برای ارزیابی اثرات زیست محیطی با ماهیت این روش مطابقت دارد. یکی از محدودیت‌های مطالعه حاضر این است که برای ارزیابی خسارت احتمالی به محیط زیست، فقط بحث آلودگی هوا بر اساس میزان کربن انتشار یافته در اثر آتش سوزی مواد مد نظر قرار گرفته است و دلیل این امر محدودیت زمانی است زیرا ارزیابی کلیه خسارت احتمالی به آب، هوا و خاک و ارایه نتایج به صورت ریالی فرایندی بسیار وقت گیر و پیچیده است و با ماهیت روش ارزیابی ریسک فرانک و مورگان مطابقت ندارد از این روست که کاربرد این روش بیشتر برای اولویت بندی واحدها جهت اختصاص منابع مالی و انسانی است و اجرای آن نیاز به زمان زیادی ندارد.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد روش فرانک و مورگان توسعه یافته می‌تواند برای ارزیابی ریسک حریق صنعتی و اولویت بندی واحدها در سطح کل یک مجموعه صنعتی به خصوص کارخانجات مواد شیمیایی مناسب باشد. خروجی این روش برای اختصاص منابع مالی و انسانی و اجرای اقدامات اصلاحی و در نتیجه کاهش ریسک کاربرد دارد. این شیوه می‌تواند به خصوص برای واحدهای تولیدی که دارای محدودیت‌هایی در زمینه تخصیص منابع مالی و انسانی برای کاهش ریسک‌های ایمنی می‌باشند مدیریت را در این زمینه یاری نماید. استفاده از روش فوق برای صنایع مشابه توصیه می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده خسارات احتمالی به محیط زیست در صورت بروز آتش سوزی اهمیت زیادی دارد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله از مدیریت محترم شرکت فراپل جم، پرسنل تلاشگر و بالاخص مسوول ایمنی و بهداشت این شرکت جناب آقای مهندس مصطفی ایمانیان کمال تشکر و قدردانی را دارند.

منابع

BADGER, S. G. 2011. Large-loss fires in the united states-2010. NFPA.

BERNATIK, A. & LIBISOVA, M. 2004. Loss prevention in heavy industry: risk assessment of large gasholders. J. Loss Prevent. Proc, 17, 271–278.

CAREY, F. A. & SUNDBERG, R. J. 2007. Advanced organic chemistry, USA, Springer Science and Business Media, LLC.

PAIKA, J. K., CZUJKOB, J., KIMA, B. J., SEOA, J. K., RYUA, H. S., HAA, Y. C., JANISZEWSKIB, P. & MUSIALB, B. 2011. Quantitative assessment of hydrocarbon explosion and fire risks in offshore installations. Marine Structures, 24, 73–96.

ROSE, S., FLAMBERG, S., LEVERENZ, F. & BATTELLE 2007. Guidance document for incorporating risk concepts into NFPA codes and standards. Massachusetts: Fire Protection Research Foundation.

SHAOYUN, R. 2012. Assessment on logistics warehouse fire risk based on analytic hierarchy process. Procedia Engineering, 45, 59 – 63.

SI, H., JI, H. & ZENG, X. 2012. Quantitative risk assessment model of hazardous chemicals leakage and application. Safety Science, 50, 1452–1461.

SKULMOSKI, G. J., HARTMAN, F. T. & KRAHN, J. 2007. The Delphi method for graduate research. Journal of Information technology education, 6.

WEICHENG, F., JINHUA, S. & SHOUXIANG, L. 2006. Methodology of Fire Risk Assessment. Beijing: Publishing company of science and technology.

WHO 2008. A WHO plan for burn prevention and care. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

YAN-BOA, H., BINGA, H. & ZHEB, Z. 2011. Research on assessment method of fire protection system. Procedia Engineering, 11, 147-155.

YUNG, D. 2008. Principles of Fire Risk Assessment in Buildings, Toronto, Canada, John Wiley & Sons, Ltd.

DALALAH, D., AL-OQLA, F. & HAYAJNEH, M. 2010. Application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of cranes. JJMIE, 4, 567 - 578.

FITZGERALD ROBERT, W. 1994. Building Fire Safety Engineering Method. Worcester, Massachusetts, USA: Symposium. Ottawa: Worcester Polytechnic Institute.

FONTANA, M. 1984. SLA 81-Swiss rapid risk assessment method. ETH Zurich,Switzerland: Institute of Structure Engineering.

GOLMOHAMADI, R. 1391. Fire Engineering, Fanavaran.(in Persian)

GONZALEZ, F. 2012 Distributional effects of carbon taxes: The case of Mexico. Energy Economics, 34, 2102–2115.

http://www.who.int/topics/millennium_development_goals/en/ [Online[.

L.BRAUER, R. 2006. Safety and health for engineers.

MICHAEL, J. & KARTER, J. R. 2010. U.S. Fire Loss For 2010. NFPA Journal.

NFPA 1995. NFPA550 Guide to the Fire Safety Science Concepts Tree. 1995 ed. MA,USA.

NFPA 2002. SFPE Handbook of fire protection Engineering, USA, National Fire Protection Association.

NOURI, J., OMIDVARI, M. & TEHRANI, S. M. 2010. Risk assessment and crisis management in gas stations. Int. J. Environ. Res, 4, 143-152.

OKOLI, C. & PAWLOWSKI, S. D. 2004. The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. Information & Management 42, 15–29.

Developing the Frank and Morgan technique for industrial fire risk assessment

R. Golmohamadi [1]; I. Mohammadfam [1]; M. Shafie motlagh[2*]; J. Faradmal [3]

[1]Associate professor, Department of Occupational Hygiene, School of Public Health and Research center for Health sciences, Hamadan University of Medical Sciences

[2] MSc, Department of Occupational Hygiene, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences,

[3]Assistant Professor, Department of Biostatistics and Epidemiology, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences

Abstract

Introduction: Every year many people around the world lose their lives or suffer from injuries and serious damages in industrial fire. This study aims at evaluating fire risk using an suitable method and determining endangered humane, financial and environmental capitals in various parts of a chemical industries.

Material and Method: In this analytical study the developed Frank and Morgan method was used to evaluate the risk of fire in all units of a chemical company. Improved checklists validity was confirmed by experts and then, its reliability was determined by test-retest analyzing method. Human, financial and environmental probable losses were calculated in the case of fire. A risk factor was determined for each unit and all of them were prioritized accordingly.

Result: The study of developed checklists' validity showed that there was a high conformity (homogeneity) between results of two measured loads (ICC=0.87; %95CI: 0.699-0.952). Mean value of risk in units was 115.45 and research and development (R&D) and sparse part store units have the highest and lowest risk values, respectively. Endangered humane, financial and environmental capitals had the highest to lowest score, respectively.

Conclusion: Results showed that the developed Frank and Morgan method can be a suitable tool for evaluating industrial fire risk and prioritizing units in general level of an industrial complex especially chemicals company. According to the findings in this study, the investigation of likely damages to environment in the case of fire has high importance.

Key words: *Risk assessment, Fire, Frank and Morgan, Chemical industry*

* Corresponding Author Email: *hse.masoudshafii@yahoo.com*