فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال دهم / شماره‌ی ۴۲/ پاییز ۱۳۹۳/ صفحات ۱۵۹ - ۱۳۵

مقایسه‌ی دو دیدگاه مختلف در کاربرد روش (FMEA) برای ارزیابی ریسک: مطالعه‌ی موردی پالایشگاه گاز ایران

شمسی قاسمی[۱]
دکتری اقتصاد مالی دانشگاه تربیت مدرس sh_ghasemi@modares.ac.ir

کاظم یاوری
دانشیار دانشکده‌ی مدیریت و اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس kyavari@modares.ac.ir

رحیم محمودوند
استادیار گروه آمار دانشگاه بوعلی سینا r.mahmoudvand@basu.ac.ir

بهرام سحابی
استادیار دانشکده‌ی مدیریت و اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس sahabi_b@modares.ac.ir
تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۰۸

چکیده

ارزیابی ریسک، که معمولاً برای شناسایی، کنترل و کاهش پیامدهای ریسک به کار می‌رود، یکی از مراحل اصلی مدیریت ریسک است و برای انجام آن روش‌های مختلفی در حوزه‌های کاربردی مطرح شده است. محققان رویکردهای ارزیابی ریسک را بر اساس دو دیدگاه مختلف در دو دسته‌ی قطعی و احتمالی قرار داده‌اند. با این وجود بررسی‌ها نشان می‌دهد که تعدادی از روش‌های ارزیابی ریسک توسط عده‌ای از محققان به عنوان روش احتمالی و در عین حال توسط برخی دیگر به عنوان روش قطعی معرفی و به کار گرفته شده‌اند. در این مقاله روش حالات خطا و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA) به عنوان یکی از این روش‌ها که کاربرد گسترده‌ای نیز برای ارزیابی ریسک صنایع فرایندی دارد، مورد مطالعه قرار گرفته و منطقی بودن تعلق آن به هر دو دسته‌ی قطعی و احتمالی بررسی شده است. در پایان، یک مطالعه‌ی تجربی در یکی از پالایشگاه‌های گاز ایران، برای نشان دادن اهمیت دو دیدگاه در ارزیابی ریسک این حوزه انجام و نتایج آن ارایه شده است. نتایج حاصل از مطالعه‌ی تجربی نشان می‌دهند که دیدگاه احتمالی می‌تواند نتایج مطمئن‌تری نسبت به دیدگاه قطعی ارائه کند.

طبقه‌بندی JEL: G22،Q49، D81

کلید واژه‌ها: روش‌های ارزیابی ریسک، رویکرد قطعی، رویکرد احتمالی، روش حالات خطا و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA)، پالایشگاه گاز

۱- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

تعاریف گوناگونی از ریسک[1] در ادبیات مدیریت ریسک در حوزه‌های مختلف، بیان شده است. تعریف ریسک از نظر برخی محققان این‌چنین است؛ "ریسک، مفهوم دو بعدی شامل (۱) احتمال یک پیامد مضرر (ناسازگار) و (۲) عدم اطمینان نسبت به رویداد، زمان‌بندی یا مقدار پیامد مضرر (ناسازگار) است. اگر چنین ویژگی‌هایی وجود نداشته باشد، ریسکی وجود ندارد". تعریف دیگری از ریسک در CMPT[2] (۱۹۹۹) ارایه شده است: "ریسک ترکیبی از احتمال کلی و پیامد حادثه است. ریسک وضعیتی است که در آن امکان انحرافی ناسازگار از نتایج مطلوب مورد انتظار در آینده وجود دارد (واقان[3] و واقان، ۲۰۰۳). هم‌چنین ریسک یک رویداد تصادفی است که ممکن است اصلاً اتفاق نیافتد، اما اگر اتفاق افتاد، اثر منفی بر اهداف سازمان خواهد داشت (وُس[4]، ۲۰۰۸). "عدم اطمینان از انحراف نتایج حاصل از یک رخداد از مقادیر مورد انتظار در آینده" یکی دیگر از تعاریفی است که برای ریسک بیان شده است. تمرکز این تعریف بر آسیب‌های بالقوه‌ای است که حاصل یک رخداد آتی می‌باشد. این آسیب‌ها می‌توانند به صورت بروز هزینه یا عدم توفیق در کسب منافع ناشی شده باشند (درخشان، ۱۳۸۹). پژوهشگران و نظریه‌پردازان رشته‌های مختلفی مانند اقتصاد، آمار و بیمه تلاش کرده‌اند تعریفی واحد که در هر حوزه‌ای قابل استفاده باشد، ارایه کنند، اما هر یک تعریفی مبتنی بر دانش خود مطرح کرده‌اند و لذا توافقی در خصوص یک تعریف واحد حاصل نشده است. آن‌چه که در بیش‌تر تعاریف ارایه شده به چشم می‌خورد، وجود دو متغیر عدم اطمینان از احتمال وقوع و مقدار زیان است.

توجه عمومی در زمینه‌ی بررسی‌های مربوط به ریسک در طول سه دهه‌ی گذشته با سرعت زیادی گسترش یافته، به طوری‌که این بررسی‌ها به عنوان فرآیندی مؤثر و جامع رایج شده است و تقریباً همه‌ی جنبه‌های زندگی را دربرمی‌گیرد. تطبیق مستمر بررسی‌های ریسک با قواعد و مقررات، در کنار گسترش آن‌ها در تصمیم‌گیری‌ها به‌وسیله‌ی صنایع و نهادهای دولتی، سبب توسعه‌ی مبانی نظری، روش‌ها و ابزارهای عملی و کاربردی شده است (هایمس[5]، ۲۰۰۹). از دیدگاه نظری، هر فعالیت اقتصادی همراه با درجه‌ای از ریسک است. ریسک را نمی‌توان کاملاً حذف کرد، بنابراین نگرش علمی به مسأله‌ی ریسک چیزی جز مدیریت آن نیست. با توسعه‌ی بنگاه‌های اقتصادی و

1- Risk
2- Center for Marin and Petroleum Technology (CMPT)
3- Vaughan
4- Vose
5- Haimes

گسترش دامنه‌ی تجارت، مدیریت ریسک از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات اقتصادی و بازرگانی برخوردار شده است. ماهیت مدیریت ریسک ایجاب می‌کند که این مطالعات چند وجهی باشد، یعنی علاوه بر شناخت عملکرد اقتصادی و تجاری بنگاه، لازم است مدیران ریسک با مسائل آماری و ریاضی، روش‌ها و مدل‌های کنترل ریسک نیز آشنا باشند (درخشان، ۱۳۸۳).

روش‌های مختلف زیادی از ارزیابی ریسک در دنیا وجود دارد که معمولاً برای شناسایی، کنترل و کاهش پیامدهای خطرات به‌کار می‌رود. این روش‌ها در مطالعاتی مانند تاکسیر و همکاران[۱] (۲۰۰۲)، رینیرس و همکاران[۲] (۲۰۰۵)، ورلیندن و همکاران[۳] (۲۰۱۲) و قراچورلو و انجمن آذری (۱۳۸۷) مشاهده می‌شود. با توجه به موارد متعددی مانند هدف و سطح استفاده و نوع اطلاعات موجود، معمولاً ارزیابان ریسک یکی از روش‌های ارزیابی ریسک را که مناسب‌تر باشد به کار می‌برند. در مطالعات این حوزه بیش‌تر به دسته‌بندی رویکردهای ارزیابی ریسک به دو رویکرد قطعی و احتمالی پرداخته‌اند و نوع روش ذیل هر گروه را معرفی کرده‌اند. با این وجود بررسی‌ها نشان می‌دهد که تعدادی از روش‌های ارزیابی ریسک توسط عده‌ای از محققان به عنوان روش احتمالی و در عین حال توسط برخی دیگر به عنوان روش قطعی معرفی و به کار گرفته شده‌اند. به عنوان مثال مونتاگو[۴] (۱۹۹۰)، خان و عباسی[۵] (۱۹۹۸) و آرانراج و مایتی[۶] (۲۰۰۷)، روش حالات خطا و تجزیه و تحلیل اثرات آن[۷] (FMEA) را ذیل رویکرد قطعی ارزیابی ریسک نام برده‌اند، در حالی که همین روش در مطالعات دیگری مانند بارندس و همکاران[۸] (۲۰۱۲)، گارسیا و همکاران[۹] (۲۰۰۵)، ونگ و همکاران[۱۰] (۲۰۱۲)، سو و همکاران[۱۱] (۲۰۱۲) به عنوان یک روش احتمالی معرفی شده است. با پذیرش درستی و اعتبار تحقیق‌های انجام شده اولین سئوالی که به ذهن می‌رسد آن است که آیا قرار دادن روش FMEA در دسته‌ی قطعی و احتمالی و به‌دنبال آن استفاده از ویژگی‌های این دو رویکرد، تغییری در نتایج حاصل شده ایجاد می‌کند یا خیر؟

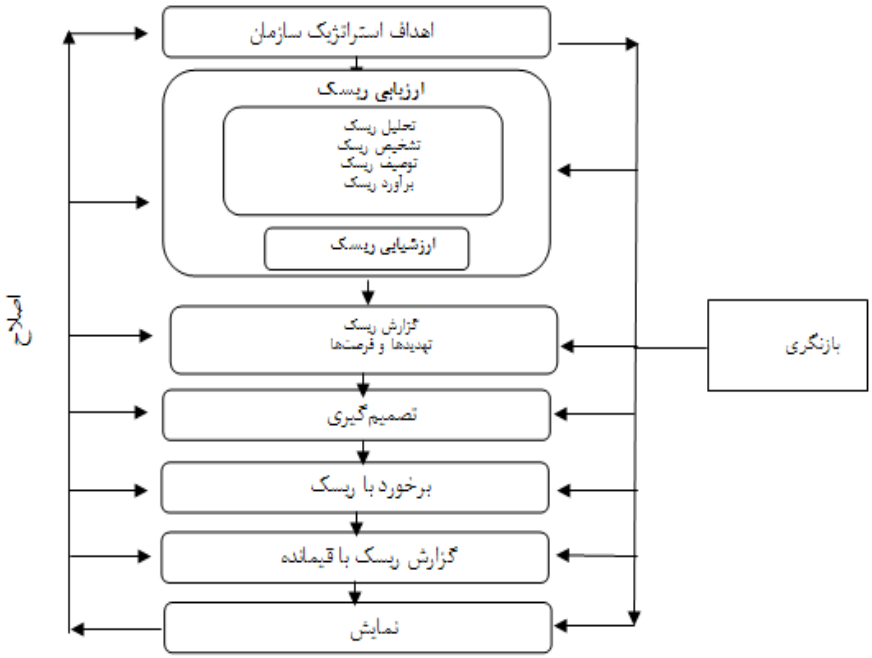
1- Tixier et al
2- Reniers et al
3- Verlinden et al
4 -Montague
5- Khan & Abbasi
6- Arunraj, N.S. & Maiti, J
7- Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)
8- Barends et al
9- Garcia et al
10- Wang et al
11- Su et al

در این مقاله به عنوان یک نمونه از روش‌های ارزیابی ریسک که فراوانی زیادی در عمل برای ارزیابی ریسک در صنایع فرآیندی دارد، روش FMEA مبنای یافتن پاسخ این سئوال قرار داده شده است.

این نوشتار به این شکل تنظیم شده است: در بخش بعدی به مفهوم ارزیابی ریسک و انواع روش‌های انجام آن پرداخته می‌شود. روش FMEA به طور خلاصه به همراه بررسی هر دو دیدگاه قطعی و احتمالی در کاربست آن در بخش سوم توضیح داده خواهد شد. ارزیابی ریسک در یک پالایشگاه گاز نمونه به عنوان یک مطالعه‌ی تجربی در بخش چهارم مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری بخش پایانی این مقاله را به خود اختصاص می‌دهد.

۲- ارزیابی ریسک و انواع روش‌های انجام آن

فرآیند مدیریت ریسک در استانداردهای مدیریت ریسک به شکل‌های مختلفی طراحی شده است. این فرایند در یکی از این استانداردها که توسط کارگروهی از سازمان‌های اصلی و مهم مدیریت ریسک انگلستان تدوین شده، در شکل (۱) نمایش داده شده است:



شکل ۱- فرآیند مدیریت ریسک (AIRMIC, ALARM, IRM, 2002)

بخش مرکزی و اصلی مدیریت استراتژیک هر سازمانی مدیریت ریسک است. مدیریت ریسک فرآیندی است که به موجب آن سازمان‌ها به طور روش‌مندی ریسک‌های مرتبط با فعالیت‌هایشان را با هدف رسیدن به منافع مداوم در هر فعالیتی و در پرتفوی همه‌ی فعالیت‌ها شناسایی می‌کنند. بر اساس فرآیند ترسیم شده‌ی بالا، اولین گام در مدیریت ریسک، ارزیابی ریسک؛ شامل تحلیل ریسک (شناسایی، توصیف و برآورد) و ارزشیابی ریسک تعریف شده است. گزارش‌دهی ریسک، تصمیم‌گیری، برخورد با ریسک، گزارش ریسک باقیمانده، نمایش ریسک و اصلاح فرآیند مدیریت ریسک به ترتیب در گام‌های بعدی این چرخه قرار می‌گیرند. هم‌چنین تمامی مراحل این چرخه پس از هر اجرا مورد بازنگری قرار می‌گیرد.

همان‌طور که بیان شد، اولین گام در فرآیند مدیریت ریسک طراحی شده، ارزیابی ریسک است. فرآیند سیستماتیکی که ریسک را به‌وسیله‌ی مفاهیم خطر، فرآیندها و رویدادها مطرح می‌کند به عنوان "ارزیابی ریسک" شناخته شده است. به بیانی دیگر، ارزیابی ریسک، تعریف سیستم و حدود آن، تشخیص رویداد زیان‌آور، ارزیابی احتمال‌ها و اثرها / پیامدها را در بر می‌گیرد (نزیر، ۲۰۰۷). همان‌طور که در مقدمه آمده است، دو رویکرد ارزیابی ریسک احتمالی و قطعی در مطالعات این حوزه معرفی و به‌کار برده شده است. با یک جستجوی ساده در ادبیات مربوط به روش‌های ارزیابی ریسک مطالب و منابع بسیاری در خصوص رویکرد قطعی و احتمالی به دست می‌آید (ببینید منابع: آرانراج و مایتی (۲۰۰۷)، گارسیا و همکاران (۲۰۰۵)، ونگ و همکاران (۲۰۱۲))، اما در ادامه به توضیح نکات کلی هر یک از رویکردها پرداخته می‌شود.

- *رویکرد قطعی*

در رویکرد قطعی، ورودی‌های مدل با یک برآورد نقطه‌ای مانند میانگین، میانه و غیره نمایش داده می‌شوند (بنک و همیلتون[1]، ۲۰۰۸). هم‌چنین رویکرد قطعی، رویکردی قیاسی است که مشخص می‌کند یک علت تنها به یک پیامد منجر می‌شود و اثر علت‌ها تحلیل می‌شود (کروگر[2]، ۲۰۱۱). این بدان معناست که در رویکردهای قطعی تنها از ابزارهای آمار توصیفی جهت کمی‌سازی ریسک‌ها و در نهایت ارزیابی و مقایسه‌ی آن‌ها استفاده می‌شود.

1- Benk and Hamilton
2- Kroger

- ***رویکرد احتمالی***

در رویکرد احتمالی توابع چگالی احتمالی (توزیع داده‌ها) برای نمایش هر مجموعه داده استفاده می‌شود (بنک و همیلتون، ۲۰۰۸). بنابراین رویکرد تصادفی یا احتمالی، عدم‌اطمینان را در ورودی‌ها و خروجی‌های (نتایج) مدل در نظر می‌گیرد. رویکرد احتمالی رویکردی آینده‌نگر و پیش‌بینی‌کننده است. در این رویکرد علت ممکن است پیامدهای مختلفی داشته باشد و رویدادها با احتمال وقوع تشخیص داده می‌شوند (کروگر، ۲۰۱۱).

در نقطه‌ی مقابل رویکردهای قطعی، در این‌جا به نظر می‌رسد که استفاده از رویکردهای آمار استنباطی ملاک عمل است.

در ادبیات این موضوع مقایسه‌های زیادی از این دو رویکرد وجود دارد. در میان آن‌ها پنستنبچ[1] (۱۹۸۹)، فینکل[2] (۱۹۹۰) و برمستر و لحر[3] (۱۹۹۱)، پیشنهاد کرده‌اند که در صورت ارزیابی عوامل در معرض خطر[4] با استفاده از توابع چگالی احتمال، می‌توان نتایج بهتری نسبت به برآوردهای نقطه‌ای به‌دست آورد. دلیلی برای این موضوع که در تحقیق‌های مختلفی از جمله علی‌خان[5] (۲۰۰۶) و براوس اریکا و همکاران[6] (۲۰۰۷) و اسکات و تاکر[7] (۲۰۰۳) مطرح شده است مربوط به امکان سناریوسازی بهتر، استخراج اطلاعات کامل‌تری از عوامل در معرض خطر و در نظر گرفتن ساختارهای وابستگی بین پارامترهای ورودی مدل است.

هم‌چنین در مطالعه‌ی بویزا[8] (۲۰۰۴)، درباره‌ی مقایسه‌ی این دو رویکرد این طور مطرح شده است که در تحلیل‌های ریسک، برآورد خسارت‌های بالقوه‌ی بیش‌تر محدود به محاسبه‌ی محتمل‌ترین خسارت بالقوه‌ی مرتبط با ریسک تحت بررسی است. این محدودیت در رویکرد قطعی بر اساس دو فرض کلیدی است:۱- هیچ عدم قطعیتی در مدل یا داده‌ی ورودی وجود ندارد و ۲- محتمل‌ترین سناریو چیزی است که بیش‌تر رخ می‌دهد، اما واقعیت آن‌قدر پیچیده است، که مدل‌های ارزیابی ریسک فقط به طور تقریبی آن واقعیت را توضیح می‌دهند و داده‌های ورودی معمولاً نمونه‌ی متناهی‌ای از

1- Paustenbach
2- Finkel
3- Burmastar and Lehr
4- Exposure
5- Ali khan
6- Bruce Erica et al
7- Scott and Tucker
8- Buizza

کل رویدادهایی هستند که باید بررسی شوند. هم‌چنین رویکرد قطعی، بر اساس محاسبه‌ی محتمل‌ترین خروجی نمی‌تواند احتمال وقوع رویدادهای با فراوانی کم، شدت زیاد، رویدادهای فاجعه‌آمیز (مانند خسارت تأسیسات عملیاتی، تغییرات زیاد در نرخ‌های ارز) را تعیین کند. متأسفانه این رویدادهای بزرگ، رویدادهایی هستند که منجر به خسارت‌های مالی زیادی می‌شوند. در نتیجه داشتن دانش و آگاهی از احتمال وقوع آن‌ها یک ضرورت است، بنابراین در برخی مطالعات این نتیجه حاصل شده است که رویکرد قطعی کنار گذاشته شود و رویکرد احتمالی دنبال شده و به‌وسیله‌ی آن تابع توزیع همه‌ی ریسک‌های آتی برآورد گردد.

البته با وجود بهتر بودن نتایج حاصل از تحلیل ریسک‌ها با رویکرد احتمالی، دشواری‌های ریاضی و محاسباتی خاصی در این رویکرد وجود دارد. در مقابل، مدل‌سازی با رویکرد قطعی، به علت در نظر نگرفتن عدم اطمینان، آسان‌تر بوده و در کاربرد و استفاده‌ی عملی نسبت به رویکرد احتمالی مزیت می‌یابد، بنابراین این رویکرد به دلیل سادگی، توسط مدیران ریسک آسان‌تر پذیرفته می‌شود و هنوز به عنوان یک رویکرد عملی در برخی از دستورالعمل‌های بین‌المللی مانند آژانس حمایت محیطی امریکا[1] و آژانس توسعه‌ی بین‌المللی امریکا[2] (۲۰۰۴)، سازمان بهداشت جهانی[3] (۲۰۰۳) و انجمن مدیریت منابع طبیعی و انجمن میراث و حمایت محیطی استرالیا[4] (۲۰۰۵) اعلام و توصیه شده است (بنک و همیلتون، ۲۰۰۸). هم‌چنین رویکرد احتمالی از نظر محاسباتی حساس‌تر از رویکرد قطعی است. در حقیقت خطای استفاده از داده‌های نادقیق منجر به تحلیل احتمالی ناقص می‌شود، درحالی‌که تأثیر آن در رویکرد قطعی به مراتب کم‌تر است، بنابراین مدیران ریسک باید در برداشت نادرست از نتایج تحلیل‌های احتمالی هوشیار و محتاط باشند.

در بسیاری از موارد داده‌های زیادی برای تشخیص مناسب و به موقع توزیع پارامترهای ورودی مورد نیاز است. این نوع داده‌ها همیشه برای همه‌ی ورودی‌ها به‌ویژه در محیط‌های مهندسی وجود ندارد، به همین دلیل ارزش‌افزوده‌ی ایجاد شده به‌وسیله‌ی روش‌های تحلیل احتمالی نمی‌تواند همیشه برای توجیه هزینه‌های اضافی در مقایسه با

1- United States Environmental Protection Agency (US EPA)
2- United States Agency for International Development (US AID)
3- World Health Organisation (WHO)
4- Natural Resource Management Ministerial Council (NRMMC) and Environment Protection and Heritage Council (EPHC)

برآوردهای نقطه‌ای کافی باشد. برای تشخیص این مسأله آژانس حمایت محیطی امریکا (۲۰۰۳) توصیه می‌کند که رویکرد احتمالی تنها برای پروژه‌هایی استفاده شود که برآوردهای ریسک در زیر یا کمی زیر سطح قابل قبول ریسک هستند. هم‌چنین علی خان (۲۰۰۶) توصیه می‌کند که در مواردی که اقدام‌های مؤثر به منابع قابل توجهی نیاز دارد از رویکرد احتمالی استفاده شود.

۳- روش FMEA

FMEA، تکنیکی تحلیلی است که برای تشخیص، کاهش و حذف خطاها و مشکلات بالقوه و بالفعل موجود در سیستم، طراحی محصول، فرایند تولید یا خدمت، قبل از رسیدن آن‌ها به دست مشتری به کار می‌رود (استماتیس[1]، ۱۹۹۵). اولین استفاده از این روش، شناسایی ریسک (خطا) در یک سیستم است. پس از معرفی این روش به‌عنوان ابزاری پشتیبان برای طراحان، صنایع گوناگونی شامل؛ هواپیمایی، خودرو، هسته‌ای، الکترونیکی، شیمیایی (به‌ویژه‌ی صنایع نفت، گاز و پتروشیمی)، مکانیکی و پزشکی به طور گسترده‌ای از این روش استفاده کرده‌اند (شارما و همکاران[2] (۲۰۰۵)؛ چاین و همکاران[3] (۲۰۰۹)؛ چنگ و چینگ[4] (۲۰۱۱)، چنگ و چینگ ۲۰۱۰)). هم‌چنین موفقیت‌های به دست آمده از این روش در حوزه‌های مختلف سبب شده است تا روز به روز بر کاربردهای آن افزوده شود. مطالعه‌ها و کاربردهای این روش در رشته-های مختلف صنعتی و پزشکی در ایران نیز تأکیدی بر این موضوع است (به عنوان مثال علی‌محمدی و همکاران (۱۳۹۱)، حسینی المدواری و همکاران (۱۳۹۰)، ابراهیم زاده و همکاران (۱۳۹۰)، عدل و همکاران (۱۳۸۴) را ببینید). نکته‌ی قابل توجه این است که این روش مبتنی بر نظرات خبرگان حوزه‌ی مورد مطالعه بوده و در مواردی که داده‌های زیان در دسترس نباشند، روشی کارا و مؤثر خواهد بود.

در روش FMEA، پس از احصای ریسک‌ها، برآورد ریسک با محاسبه‌ی عدد اولویت ریسک[5] RPN برای هر حالت بالقوه‌ی خطا و اثر آن انجام می‌گیرد. این متغیر، با ضرب

1- Stamatis
2- Sharma et al
3- Chin et al
4- Chang and Cheng
5- Risk Priority Number (RPN)

سه عامل شدت اثر (S)[1]، احتمال وقوع (O)[2] و قابلیت کشف خطا (D)[3] به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$RPN = S \times O \times D \qquad (۱)$$

این سه عامل با مقیاسی از یک تا ۱۰ درجه‌بندی می‌شوند. عدد اولویت ریسک، مبنای اولویت‌بندی حالات خرابی می‌باشد. با توجه به این‌که سه عامل فوق می‌توانند اعدادی بین ۱ تا ۱۰ اختیار کنند، RPN رقمی بین ۱ تا ۱۰۰۰ خواهد داشت.

برای اجرای این روش، تیمی متشکل از افراد خبره‌ی آشنا به فرآیندهای محصول و ارزیابی ریسک، اقدام به تکمیل برگه‌ی کار طراحی شده در بخش‌های مورد نظر، بر اساس تجربیات فنی، مصاحبه با مسئولان بخش‌ها و جمع‌آوری داده‌های آماری، می‌کنند. مراحل انجام فعالیت، خطرات بالقوه، علت‌های خطر، پیامدهای خطر، مکانیزم‌های حفاظتی موجود (پیشگیرانه و تشخیصی)، شدت خسارت S، احتمال وقوع O، احتمال کشف D، عدد اولویت ریسک RPN و اقدام کنترلی/ پیشنهادی، ستون‌های برگه کار FMEA را تشکیل می‌دهند. بدین ترتیب ریسک‌ها شناسایی و برآورد می‌شوند.

۳-۱- کاربردهای FMEA

در عمل ابزار کلیدی استفاده از FMEA همان عدد اولویت ریسک (RPN) است. براین اساس RPN های بالا، یک حالت خرابی یا ریسک بیش‌تر در قابلیت اطمینان سیستم (محصول) را نشان می‌دهند. برای RPN های بالا، تیم ارزیابی می‌بایست اقدامات اصلاحی مقتضی جهت کاهش آن را انجام دهد و جدا از نتیجه‌ی RPN، توجه خاص می‌بایست معطوف به شکست‌هایی شود که شدت آن بالا است. به منظور کنترل کارایی اقدامات اصلاحی برای حالات‌های خرابی و اطمینان از کاهش ریسک مورد نظر، RPNها باید دوباره محاسبه شوند (لیو هیو چن و همکاران، ۲۰۱۳).

اما موضوع اصلی که در حقیقت در راستای پاسخ‌دهی به سئوال این تحقیق است، نحوه‌ی تحلیل مقادیر RPN است. در تحقیق‌هایی که تا به حال بر اساس روش FMEA انجام شده، با رویکرد توصیفی به این شاخص نگریسته شده است و لذا اعتبار نتایج حاصل از آن مورد تردید می‌باشد. در ادامه با اضافه کردن تحلیل‌های پیشرفته‌تری به

1- Severity
2- Occurrences
3- Detection

کمیت RPN، ملزومات استفاده‌های بهتر و دقیق‌تر از نتایج روش FMEA به عنوان یافته‌های جدید در این زمینه فراهم می‌شود.

چنان‌که گفته شد، بزرگی و کوچکی RPN ملاک تحلیل و ارزیابی ریسک‌های شناسایی شده است. در این خصوص و با توجه به آن‌چه که در رویکردهای قطعی و احتمالی گفته شد، می‌توان از هر دو دیدگاه توصیفی و استنباطی به اعداد RPN نگاه کرد. یادآوری می‌شود که در صورت تحلیل اعداد RPN با استفاده از آمارهای توصیفی، شاخص‌هایی از RPN مانند میانگین و انحراف معیار ملاک تصمیم‌گیری در مورد دسته‌بندی ریسک‌ها به ریسک‌های خطرناک، متوسط و ایمن است، اما در تحلیل RPN با استفاده از آمارهای استنباطی از توزیع احتمالی RPN استفاده می‌شود. در ادامه، مسأله‌ی یافتن توزیع RPN گروه‌های ریسک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

همان‌طور که گفته شد، RPN از حاصل‌ضرب سه عامل ریسک S، O و D برای هر حالت خرابی یا ریسک به‌دست می‌آید. احتمال مربوط به هر یک از مقیاس‌ها برای سه عامل فوق به شکل زیر نشان داده می‌شود:

s	1	2	…	10	sum
	]	]	…	]	1

o	1	2		10	sum
	]	]	…	p_{10}^{o}	1

d	1	2	…	10	sum
	]	]	…	]	1

rpn	1	1	...	900	1000	Sum
	]	]	...	]	]	1

که در این جداول p_i^s،p_i^o و p_i^d ، احتمال مقادیر مشاهده شده i (i =1,…,10) به‌ترتیب برای متغیرهای S، O و D است. روشن است که این مقادیر در فاصله‌ی (۱،۰) قرار دارند. توزیع احتمال RPN با فرض استقلال سه متغیر S، O و D به شکل زیر حاصل می‌شود.

که در آن؛

$p_1 = p(S = 1, O = 1, D = 1) = p_1^S p_1^O p_1^D$, $p_2 = p(S = 1, O = 2, D = 1) + p(S = 2, O = 1, D = 1) + p(S = 1, O = 1, D = 2) = p_1^S p_2^O p_1^D + p_2^S p_1^O p_1^D + p_1^S p_1^O p_2^D$

.
.
.

$p_{900} = p_9^S p_{10}^O p_{10}^D + p_{10}^S p_9^O p_{10}^D + p_{10}^S p_{10}^O p_9^D$, $p_{1000} = p_{10}^S p_{10}^O p_{10}^D$ (۳)

در عمل مقادیر واقعی برای p_i ها وجود ندارد. بنابراین باید از طریق نمونه‌گیری از صنعت مورد نظر، این مقادیر برآورد شوند.

تنها در حالت خاصی که سه متغیر S، O وD توزیع یکنواخت داشته باشند، توزیع RPN به شکل زیر خواهد بود:

$$p_k = p(\text{RPN} = \text{K}) = \sum_{\{(\mathbf{s},\mathbf{o},\mathbf{d}):\mathbf{s}\times\mathbf{o}\times\mathbf{d}=\mathbf{k}\}} p(S = s)p(O = o)\,p(D = d) \quad (۴)$$
$$= \sum_{\{(\boldsymbol{s},\boldsymbol{o},\boldsymbol{d}):\boldsymbol{s}\times\boldsymbol{o}\times\boldsymbol{d}=\boldsymbol{k}\}} \left(\frac{1}{10}\right)\left(\frac{1}{10}\right)\left(\frac{1}{10}\right)$$

نکته‌ی قابل توجه این است که RPN نمی‌تواند همه‌ی مقادیر بین یک تا ۱۰۰۰ را داشته باشد. با در نظر گرفتن همه‌ی ترکیبات ممکن از سه متغیر فوق، ملاحظه می‌شود که تنها ۱۲۰ عدد غیر تکراری از اعداد بین یک تا ۱۰۰۰ برای RPN تولید می‌شود. این در حالی است که ۱۰۰۰ عدد برای RPN حاصل می‌شود اما بیش‌تر آن‌ها اعداد تکراری هستند. به عنوان مثال RPN نمی‌تواند عددی بین ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ داشته باشد. سه جایگشت

$(S = 10, O = 10, D = 9)$،$(S = 10, O = 9, D = 10)$ و $(S = 9, O = 10, D = 10)$

مقدار $RPN = 900$ را ایجاد می‌کند و تنها نمونه‌ی $(S = 10, O = 10, D = 10)$ مقدار $RPN = 1000$ را تولید می‌کند. ملاحظه می‌شود با توجه به گسسته بودن مقادیر S، O و D، امکان وجود مقداری بین ۹۰۰ و ۱۰۰۰ وجود ندارد.

نمودار (۱)، توزیع احتمال RPN را برای حالت یکنواخت نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که RPNهای کوچک‌تر، احتمال بیش‌تری نسبت به RPNهای با مقادیر بزرگ‌تر دارند. هم‌چنین محور عمودی این نمودار نشان می‌دهد که RPN دارای توزیع چند مدی شامل سه مد ۶۰، ۷۲ و ۱۲۰ است.



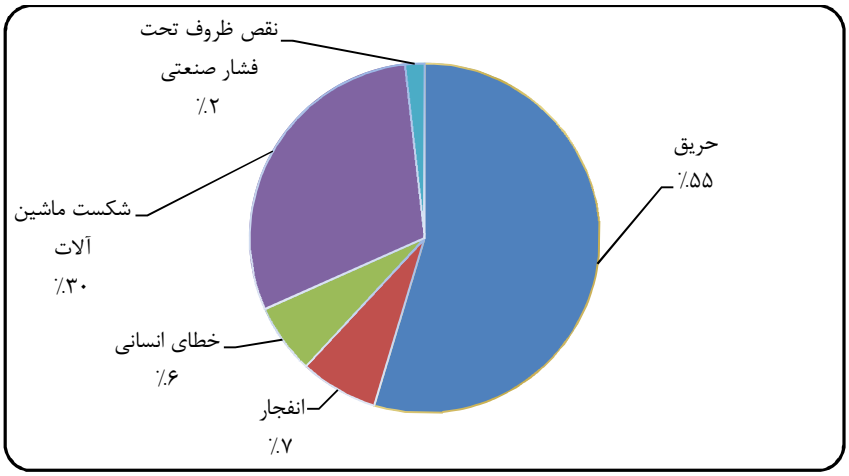
مارون، انفجار مخـزن شـماره‌ی ۱۳ پایانـه‌هـای مـواد نفتـی شـرکت OTC[1] بـه عنـوان نمونه‌هایی از حوادث موجود در این صنایع از سوی دیگر اهمیت توجه به ارزیابی ریسک در این حوزه را نشان می‌دهد. شایع‌تـرین انـواع ریسـک‌هـای ممکـن در پالایشـگاه گـاز (نمونه‌ی مورد مطالعه) عبارتند از:

- آتش‌سوزی و انفجار،
- نشت مواد،
- مواد شیمیایی مخاطره‌آمیز،
- وجود فضاهای محدود،
- پاک‌کردن مخزن،
- مخاطرات ناشی از گاز دی‌اکسید کربن،
- خطای انسانی،
- شکست ماشین‌آلات،
- نقص ظروف تحت فشار صنعتی،
- خطرات طبیعی (شامل؛ زلزله، سیل و آب‌گرفتگی، طوفان، صاعقه).
- خطرات خارجی (شامل؛ جنگ و تروریسـم، آلـودگی ناشـی از مـواد رادیواکتیـو، سلاح‌های الکترومغناطیسی، حملات سایبری، تحریم‌ها)

پالایشگاه‌های گاز کشور، به عنوان یکی از بیمه‌گذاران بزرگ، تحت پوشش بیمه قرار می‌گیرند. شرکت‌هـای بیمـه‌ی کشـور، ریسـک‌هـای حریـق، صـاعقه، انفجـار، شکسـت ماشین‌آلات، خطا و غفلت، نقص ظروف تحت فشار صـنعتی و خطـرات طبیعـی (شـامل؛ زلزله، سیل و طغیان، طوفان، صاعقه، فوران آتش‌فشـان) را بـه عنـوان خطـرات اصـلی و تبعی تحت پوشش قرار می‌دهند. خطرات خارجی فـوق جـزء اسـتثنائات در بیمـه نامـه می‌باشند که تحت پوشش بیمه‌گران ایرانی قرار نمی‌گیرند. از آن‌جـا کـه بـه‌طـور کلـی خساراتی که در اثر وقوع خطرات منجر به زیـان مـی‌شـوند، دو نـوع خسـارات مـالی و خسارات جانی را شامل می‌شود، در این مطالعه ریسک‌های اموال مورد توجه قرار گرفته و شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل انواع این ریسک‌ها در یک پالایشـگاه گـاز نمونـه انجـام شده است. به دلیل عدم دسترسی به داده‌هـای زیـان در نمونـه‌ی مـورد مطالعـه، روش FMEA به عنوان یکی از روش‌های ارزیابی ریسک انتخاب شده است.

1- http://www.shana.ir

به عنوان اولین مرحله در اجرای روش FMEA، همه‌ی ریسک‌های ممکن بالقوه در پالایشگاه گاز نمونه توسط تیمی متشکل از افراد خبره برای سال ۱۳۹۰شناسایی شده و سپس با نگرش بیمه‌ای، همه‌ی ریسک‌های شناسایی شده در پالایشگاه نمونه به روش FMEA در ۵ گروه حریق، انفجار، خطای انسانی، شکست ماشین‌آلات و نقص ظروف تحت فشار صنعتی طبقه‌بندی می‌شود. ۴ گروه اول به عنوان خطرات اصلی و ریسک آخر به عنوان خطر تبعی (در صورت نیاز بیمه‌گذار با حق بیمه بالاتر) در بیمه‌نامه‌ی پالایشگاه پوشش داده می‌شوند. ریسک‌های طبیعی و محیط زیستی، ریسک‌های غیرمستقیم مالی و ریسک‌های جانی (حوادث انسانی) در دامنه‌ی این بررسی قرار نگرفته‌اند. ریسک‌های مزبور تنها گروه ریسک‌هایی را شامل می‌شوند که در واحدهای عملیاتی پالایشگاه مورد مطالعه، شناسایی شده‌اند و از آن‌هایی که در واحدهای غیرعملیاتی شناسایی شده‌اند صرف‌نظر شده است. در دامنه تعریف شده، در گروه ریسک‌های حریق، انفجار، خطای انسانی، شکست ماشین‌آلات و نقص ظروف تحت فشار صنعتی به ترتیب ۱۵۲، ۲۰، ۱۸، ۸۳ و ۵ نوع ریسک شناسایی شده است (نمودار ۲). ملاحظه می‌شود که گروه ریسک‌های حریق و شکست ماشین‌آلات بیش‌ترین ریسک‌های پالایشگاه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند.



نمودار ۲- سهم گروه‌های ریسک در ریسک‌های مورد مطالعه در پالایشگاه نمونه

با توجه به این‌که، هر گروه ریسک شامل تعدادی ریسک همگن است، متوسط سه فاکتور S، O وD در هر گروه ریسک تعریف شده با استفاده از رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود:

$$\bar{S}_j = {}^{1}/_{n_j} \Sigma_{i=1}^{n_j} S_{ij} \quad \bar{O}_j = {}^{1}/_{n_j} \Sigma_{i=1}^{n_j} O_{ij} \quad \bar{D}_j = {}^{1}/_{n_j} \Sigma_{i=1}^{n_j} D_{ij} \quad j = 1, \dots, 5 \qquad (۲)$$

n_j تعداد ریسک‌ها در گروه ریسک j است. $\bar{S}$، $\bar{O}$ و $\bar{D}$ به ترتیب متوسط سه شاخص شدت خسارت، احتمال وقوع و احتمال کشف برای ریسک‌های شناسایی شده (i) در هر طبقه ریسک j هستند.

سپس RPN هر گروه ریسک با استفاده از رابطه‌ی (۱) بر اساس مقادیر متوسط محاسبه شده ($\bar{S}_j$، $\bar{O}_j$ و $\bar{D}_j$) برآورد می‌شود. با استفاده از روش فوق، RPN برای ۵ گروه ریسک به شکل جدول (۲) به‌دست آمده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقادیر مربوط به ستون $C.V/\sqrt{n}$ برای همه‌ی گروه‌های ریسک (با داده‌های مثبت) به میزان قابل توجهی کم‌تر از یک هستند، بنابراین با توجه به نابرابری زیر (برای اثبات به محمودوند و حسنی (۲۰۰۹) رجوع کنید):

$$0 \leq C.V/\sqrt{n} \leq 1$$

تغییرپذیری خیلی زیادی بین مقادیر RPN در گروه‌های ریسک مورد مطالعه وجود ندارد و بنابراین میانگین برآورد شده برای همه‌ی گروه‌های ریسک، اعتبار آماری خوبی داشته و می‌تواند مبنای محاسبات قرار گیرند (n تعداد نمونه و c.v ضریب تغییرات است).

جدول ۲- اعداد اولویت ریسک در گروه‌های ریسک برای پالایشگاه گاز نمونه

گروه ریسک	تعداد ریسک‌ها	$\bar{S}$	$\bar{O}$	$\bar{D}$	RPN	$C.V/\sqrt{n}$
حریق	۱۵۲	۶/۱۱	۴/۷۶	۳/۹۶	۱۱۵/۱۷	۰/۰۴
انفجار	۲۰	۸/۸۵	۳/۴۵	۵/۱۵	۱۵۷/۲۴	۰/۱۱
خطای انسانی	۱۸	۶/۹۴	۳/۵۶	۳/۳۹	۸۳/۶۸	۰/۱۸
شکست ماشین‌آلات	۸۳	۶/۱۶	۴/۲۵	۳/۸۹	۱۰۱/۹	۰/۰۶
نقص ظروف تحت فشار	۵	۸/۶	۲/۲	۳/۴	۶۴/۳۳	۰/۱۴
کل	۲۷۸	۶/۴۲	۴/۳۹	۳/۹۸	۱۱۲/۱۱	۰/۰۴

منبع: یافته های تحقیق

تصمیم‌گیری صنایع برای خرید بیمه به منظور پوشش ریسک‌های فوق از یک سو و پذیرش یا عدم پذیرش ریسک‌ها توسط شرکت‌های بیمه از سویی دیگر مسائلی هستند که در این‌جا مطرح می‌شود. روشن است که عدد اولویت ریسک (RPN) به‌دست آمده در بخش قبل، توسط بیمه‌گذار حاصل شده است و باید توجه شود که شرکت‌های بیمه تا چه سطحی از برآورد انجام شده را می‌پذیرند و بر اساس آن مایل به پوشش ریسک‌های مورد نظر خواهند بود. با بررسی این موضوع، نوع گروه ریسک شامل؛ ریسک‌های بیمه ناپذیر، بیمه پذیر و ایمن تعیین شده و نتایج به‌دست‌آمده مبنای رفتار با ریسک‌ها در نمونه‌ی مورد مطالعه (پالایشگاه گاز نمونه) قرار خواهد گرفت. از آن‌جا که روش FMEA انتخاب شده در این پژوهش مبتنی بر RPN بوده که همه‌ی عناصر موجود در تعریف ریسک را پوشش می‌دهد، بنابراین دراین روش RPN، به عنوان ابزاری برای مدل‌سازی زیان یا به عبارتی نماینده‌ی زیان در یک صنعت می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. در این حالت، بیمه‌گران می‌توانند این متغیر را به جای متغیر زیان که معمولا در صنایع در دسترس نیستند یا اعلام نمی‌شوند، به‌کار برده و مدل‌سازی کنند. مرزهای بیمه‌پذیری هر گروه ریسک با استفاده از RPN قابل تعیین هستند، بنابراین نوع هر گروه ریسک، با توجه به مقادیر پایین (L) و مقادیر بالا (U) به شکل زیر تعیین می‌شود:

- اگر $RPN_j < L$، گروه ریسک ایمن و قابل تحمل است.
- اگر $L < RPN_j < U$، گروه ریسک بیمه‌پذیر است.
- اگر $RPN_j \geq U$ ، گروه ریسک بیمه‌ناپذیر است.

حال به منظور تعیین مقادیر L و U و یا به عبارتی نوع گروه ریسک، دو رویکرد قطعی و احتمالی در نظر گرفته می‌شود. در ادامه دو رویکرد مزبور برای ارزیابی ریسک پالایشگاه گاز مورد مطالعه به روش FMEA، توضیح داده می‌شود و تفاوت این دو رویکرد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱- کاربرد روش FMEA با رویکرد قطعی

در رویکرد قطعی، تنها یک نقطه در مدل وجود دارد که مقدار پارامتر در آن نقطه می‌تواند تغییر کند. به عبارتی در مدل قطعی، فقط مقادیر "بهترین گزینه" مورد نظر هستند و توزیع مقادیر تعیین کننده نخواهند بود (وُس، ۲۰۰۸).

بنابراین، برای نمونه‌ی مورد مطالعه، مرزهای پایین و بالای بیمه‌پذیری به شکل زیر قابل تعیین هستند:

- مرز پایین: بر اساس مقررات داخلی پالایشگاه‌های گاز در ایران، گروه‌های ریسک با RPN کم‌تر از ۱۰۰، گروه ایمن و قابل تحمل هستند، بنابراین عدد ۱۰۰ به عنوان مرز پایین در نظر گرفته می‌شود.

- مرز بالا: با توجه به تغییر مقادیر RPN بین یک و ۱۰۰۰، مقدار میانه، یعنی عدد ۵۰۰، مرز بالاست.

با توجه به این‌که در جدول (۲)، ملاحظه می‌شود که مقادیر RPN برای همه‌ی گروه‌های ریسک و برای کل ریسک‌های اموال در پالایشگاه گاز نمونه، کم‌تر از ۵۰۰ به‌دست آمده است، بنابراین بر اساس قاعده‌ی فوق، می‌توان این نتیجه را گرفت که این گروه‌ها از نظر بیمه‌گران بیمه‌پذیر هستند و هیچ گروه ریسک بیمه‌ناپذیری در پالایشگاه گاز مورد مطالعه وجود ندارد. وجود زیر ساخت‌های مناسب ایمنی و آتش‌نشانی به همراه فن‌آوری مهندسی نسبتاً مناسب در بیش‌تر واحدهای پالایشگاه مورد مطالعه، پایین بودن این مقدار را توضیح می‌دهد. این موضوع سبب شده است تا شرکت‌های بیمه ریسک‌های انتقالی از پالایشگاه مزبور را مطلوب دانسته و اقدام به پذیرش این ریسک‌ها کنند.

۴-۲ - *کاربرد روش FMEA با رویکرد احتمالی*

همان‌طور که گفته شد، در رویکرد احتمالی، ارزیابی ریسک مبتنی بر توزیع ریسک است. از آن‌جا که در این مطالعه، RPN در روش انتخابی FMEA به عنوان نماینده‌ی زیان در نظر گرفته شده و نوع گروه ریسک با استفاده از این شاخص تعیین می‌شود، بنابراین لازم است که در این رویکرد توزیع RPN محاسبه شود. سپس مرز پایین و بالای بیمه پذیری به صورت زیر تعیین شود:

- مرز پایین: مقدار فرانشیزی که باید توسط طرف بیمه‌گزار اعلام شود.

- مرز بالا: چندک بالای توزیع احتمال RPN در سطح اطمینان معین α $(0 < \alpha < 1)$ برای هر گروه ریسک.

قابل ذکر است که RPN و مرزهای بیمه‌پذیری برای طبقات مختلف ریسک، متفاوت است، درحالی که در رویکرد قطعی این مقادیر، مقادیر ثابتی هستند.

اگرچه توزیع RPN به‌دست آمده برای حالت یکنواخت آسان است، اما به‌طور معمول، پیدا کردن توزیع احتمال برای هر ریسک به علت محدودیت در اطلاعات آماری ثبت شده دشوار است. در هر صورت، تلاش می‌شود در اولین گام فرضیه‌ی توزیع یکنواخت برای سه عامل ریسک در نظر گرفته شود. بدین منظور از آزمون کای دو (χ^2) برای اثبات یا رد این فرضیه استفاده می‌شود. چنان‌چه این آزمون، یکنواخت بودن توزیع اجزاء RPN را تأیید کند، چندک بالای توزیع RPN درسطح اطمینان معین تعیین می شود و به عنوان مرز قابل قبول بیمه‌پذیری مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این حالت، در ادامه برای تحلیل داده‌ها، از این آزمون برای تعیین این‌که آیا نتایج فرضیات در تجربه نیز تأیید می‌شود یا نه، آماره (χ^2) باید برای هر سه عامل S، O وD برای هر گروه ریسک محاسبه شود.

حال برای به‌دست آوردن مرز بالای بیمه پذیری توسط بیمه‌گر، از مفهوم مقدار حداکثر خسارت (زیان) ممکن[1] PML استفاده می‌شود. حداکثر خسارت ممکن در یک قرارداد بیمه‌ی معین، نسبت حد تعهدی است که مساوی یا بزرگ‌تر از مقدار زیان پوشش داده شده در قرارداد می‌باشد (مکگینز، ۱۹۶۹). همان‌طور که گفته شد، با توجه به این‌که RPN مقدار ریسک را نشان می‌دهد می‌توان آن را به عنوان نماینده‌ی خسارت یا زیان در نظر گرفت، بنابراین توزیع احتمال این متغیر برای به‌دست آوردن مرز بیمه‌پذیری مناسب خواهد بود. قابل ذکر است که احتمال مربوط به PML تنها یک دامنه – دامنه بالا- از توزیع فراوانی زیان‌ها را در بر می‌گیرد. با اعمال این قاعده برای توزیع احتمال RPN، مقدار PML در سطح اطمینان ۹۵٪، تقریباً، عدد ۵۰۰ به‌دست می‌آید. یعنی:

$$P(RPN \leq 500) \cong 0.95$$

بدین ترتیب، عدد ۵۰۰ مرز بالای بیمه‌پذیری توسط بیمه‌گر، در سطح اطمینان ۹۵٪ خواهد بود.

توجه شود که PML به‌دست آمده در این‌جا، تنها یک مفهوم و شاخصی است که برای تعیین بیمه‌پذیری ریسک‌ها استفاده شده است و هدف ما ارزیابی خسارت‌ها بر حسب مقادیر مالی نیست.

مقدار به‌دست آمده، برای زمانی است که بیمه‌گذار هیچ بخشی از ریسک‌هایش را به‌عهده نداشته باشد، اما معمولاً، در صنایع فرآیندی، بخشی از زیان‌های رویداد واقع

1- Probable Maximum Loss (PML)

شده توسط مدیران صنایع مزبور قبل از این‌که صنعت بیمه هزینه‌های زیان را تحت بیمه نامه‌ی مشخصی پوششش دهند، تأمین مالی می‌شود. این بخش در ادبیات بیمه، فرانشیز گفته می‌شود. در چنین صنایعی که سیاست‌های HSE[1] در همه‌ی واحدها اجرا می‌شود و مدیران نسبت به تأمین مالی زیان‌های کم و نسبتاً متوسط اطمینان دارند، بیمه‌گران ترجیح می‌دهند که سطح فرانشیز قابل قبول توسط بیمه‌گذار تعیین شود. چندک بالای توزیع RPN برای سطوح اطمینان مختلف و با مقادیر فرانشیز نمونه در جدول (۳) نشان داده شده است[2].

جدول ۳- مرز بالای توزیع RPN برای سطوح اطمینان معین و با مقادیر فرانشیز مختلف

		سطوح اطمینان		
		$1-\alpha=0.99$	$1-\alpha=0.95$	$1-\alpha=0.90$
فرانشیز	۱	۷۲۹	۵۱۲	۴۰۲/۵
	۵۰	۸۰۰	۵۷۶	۴۶۵
	۱۰۰	۸۰۵	۶۳۰	۵۲۶

منبع: یافته های تحقیق

نمودار (۳)، مرز به‌دست‌آمده در سطح اطمینان۹۵٪ با فرانشیز یک را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که به منظور نمایش بهتر این ناحیه، از تابع چگالی RPN (حالت پیوسته‌ی RPN)، برای رسم نمودار استفاده شده است.

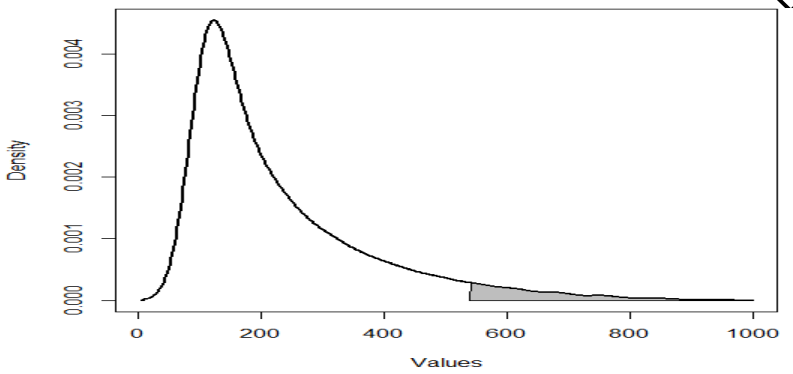
1- Health, Safety and Environment .

۲- قابل ذکر است که مرز بالا در فرانشیزهای مختلف بر اساس توزیع ناکامل (بریده شده) به شکل زیر به‌دست آمده است:
d، مقدار فرانشیز است (کلاگمن و همکاران، ۲۰۰۴).

$$p^*(RPN = rpn) = \frac{p(RPN=rpn))}{p(RPN\geq d)}$$

برای مثال، برای d=100 در سطح اطمینان ۹۹٪ داریم:

$$p^*(RPN \leq 805) = 0.99$$



نمودار ۳- توزیع RPN با مقدار فرانشیز یک در سطح اطمینان ۹۵٪

اکنون، حالتی را در نظر می‌گیریم که سه عامل ریسک S، O وD، توزیع یکنواخت نداشته باشند. در چنین حالتی، مقادیر چندک توزیع RPN، با استفاده از تکنیک‌های آماری مناسب مانند بوت استرپ به‌دست می‌آید. پس از یافتن چندک‌های بالای توزیع RPN، می‌توان در مورد نوع ریسک (بیمه‌ناپذیر، بیمه‌پذیر و ایمن) قضاوت کرد. نتایج برای پالایشگاه گاز مورد مطالعه در جدول (۴) آمده است.

جدول ۴- مرز بالای توزیع احتمال RPN در سطوح معناداری مختلف و با مقادیر فرانشیز در پالایشگاه گاز مورد مطالعه

گروه ریسک	RPN	فرانشیز	سطح معناداری (تحت بوت استرپ)			نوع گروه ریسک
			$\alpha = 0.01$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.1$	
حریق	۱۱۵/۱۷	۱	۲۵۰	۲۰۲	۱۸۰	بیمه‌پذیر
		۱۰۰	۲۸۶	۲۱۵	۲۰۴	
انفجار	۱۵۷/۲۴	۱	۲۸۵	۲۷۸	۲۶۸	بیمه‌پذیر
		۱۰۰	۲۸۷	۲۸۵	۲۸۰	
خطای انسانی	۸۳/۶۸	۱	۲۱۴	۲۰۲	۱۸۵	ایمن
		۱۰۰	۲۲۴	۲۲۴	۲۲۴	
شکست ماشین‌آلات	۱۰۱/۹۰	۱	۲۷۶	۲۰۷	۱۷۰	بیمه‌پذیر
		۱۰۰	۲۹۶	۲۶۰	۲۱۳	
نقص ظروف تحت فشار	۶۴/۳۳	۱	۸۸	۸۷	۸۴	ایمن
		۱۰۰	*	*	*	
کل	۱۱۲/۱۱	۱	۲۸۸	۲۲۰	۱۸۵	بیمه‌پذیر
		۱۰۰	۳۰۶	۲۵۵	۲۲۹	

*مقدار RPN بیش‌تر از ۱۰۰ در پالایشگاه گاز نمونه وجود ندارد.

همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌شود، همه‌ی گروه‌های ریسک، در محدوده‌ی به‌دست آمده (فاصله‌ی بین مقادیر فرانشیز و مرز بالای بیمه‌پذیری) در همه‌ی سطوح اطمینان، قرار گرفته‌اند. هم‌چنین دو گروه ریسک خطای انسانی و نقص ظروف تحت فشار مقادیر RPN کم‌تر از ۱۰۰ داشته و در دسته‌ی گروه‌های ریسک ایمن قرار گرفته‌اند.

ملاحظه می‌شود، اگرچه نتایج به‌دست آمده در این رویکرد دقیقاً با رویکرد قطعی یکسان است، اما چند تفاوت مهم و قابل توجه در این دو رویکرد وجود دارد:

- مرزهای بالای به‌دست آمده در رویکرد احتمالی به طور قابل توجهی کم‌تر از رویکرد قطعی هستند، بنابراین انتظار می‌رود که در سایر موارد مطالعاتی، نتایج متفاوتی از این دو رویکرد حاصل شود.

- در رویکرد احتمالی، مرزهای بالای به‌دست آمده برای گروه‌های ریسک مختلف، تغییر کرده و متفاوت است، در حالی که این مقادیر در رویکرد قطعی، برای همه‌ی گروه‌های ریسک مقادیر ثابت و یکسانی هستند.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مطابق با استانداردهای بین المللی معرفی شده در حوزه‌ی مدیریت ریسک، ارزیابی ریسک یکی از مهم‌ترین مراحل فرآیند مدیریت ریسک است. تاکنون روش‌های مختلفی از ارزیابی ریسک درحوزه‌های مختلف معرفی و به کار گرفته شده است. دو رویکرد قطعی و احتمالی در بیش‌تر مطالعات ارزیابی ریسک مبنای مدل‌سازی و تحلیل نتایج قرار گرفته‌اند، اما آن‌چه که در مطالعات این حوزه مشاهده می‌شود، استفاده از یک روش ارزیابی ریسک با هر دو رویکرد فوق است. از این رو پاسخ به این سئوال که آیا قرار دادن یک روش ارزیابی ریسک در دو دسته‌ی قطعی و احتمالی، نتایج یکسانی حاصل می‌کند یا خیر، هدف این مقاله قرار گرفته است. از میان روش‌های ارزیابی ریسک، روش FMEA به عنوان روشی مؤثر و کارا انتخاب و در قالب یک مطالعه‌ی تجربی برای ارزیابی ریسک یک پالایشگاه گاز نمونه بررسی و به کار برده شده است. نحوه‌ی تحلیل مقادیر RPN در روش FMEA، با استفاده از دو دیدگاه توصیفی و استنباطی، قطعی و احتمالی بودن ارزیابی ریسک را تعیین می‌کند. با در نظر گرفتن دو ابزار آماری فوق در دو رویکرد مورد نظر، مرزهای بیمه‌پذیری ریسک‌ها و در نتیجه نوع گروه ریسک شامل؛ بیمه ناپذیر، بیمه‌پذیر و ایمن در پالایشگاه گاز نمونه تعیین می‌شود. نتایج یکسانی برای

نمونه‌ی مورد مطالعه با استفاده از دو رویکرد احتمالی و رویکرد قطعی به‌دست آمده است، به این شکل که با استفاده از هر دو رویکرد، دو ریسک خطای انسانی و نقص در ظروف تحت فشار در گروه ریسک‌های ایمن قرار گرفته‌اند و سایر ریسک‌های تحت بررسی بیمه‌پذیر هستند.

این مقاله نشان می‌دهد که اگر چه نتایج به‌دست آمده در نمونه‌ی مورد مطالعه برای دو رویکرد یکسان است، اما پایین بودن مرزهای بالای بیمه‌پذیری در رویکرد احتمالی نسبت به رویکرد قطعی و هم‌چنین تفاوت مرزهای بالا در گروه‌های ریسک مختلف در رویکرد احتمالی، تفاوت قابل توجه این دو رویکرد را در سایر مطالعات این حوزه موجب خواهد شد و در نتیجه می‌توان نتایج مطمئن‌تری از رویکرد احتمالی به‌دست آورد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از مدیریت پژوهش و فناوری و مدیریت نظارت و هماهنگی تولید شرکت ملی گاز ایران برای فراهم‌کردن فرصت این مطالعه و منابع مورد نیاز تشکر می‌کنند.

فهرست منابع

ابراهیم‌زاده، مهرزاد؛ حلوانی، غلامحسین؛ مرتضوی، مرتضی و سلطانی، رضیه. ۱۳۹۰، ارزیابی خطرات بالقوه پالایشگاه شیراز با روش تجزیه و تحلیل حالات خطر (FMEA) و اثرات ناشی از آن. فصلنامه‌ی علمی تخصصی طب کار، دوره‌ی سوم، شماره‌ی دوم، صفحات ۲۳-۱۶.

حسینی المدواری، سید محمد؛ مقدسی، مجتبی و شفیعی زاده بافقی، مهدیه. ۱۳۹۰، ارزیابی ریسک به روش FMEA و مقایسه RPN قبل و بعد از اقدامات اصلاحی در پروژه‌ی احیای مستقیم فولاد بافق. هفتمین همایش سراسری بهداشت و ایمنی کار.

درخشان، مسعود. ۱۳۸۳، مشتقات و مدیریت ریسک در بازارهای نفت. تهران: مؤسسه‌ی مطالعات بین‌المللی انرژی.

درخشان، مسعود. ۱۳۸۹،" توسعه‌ی پوشش‌های بیمه‌ای در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی"، در هفدهمین همایش ملی و سومین همایش بین‌المللی بیمه و توسعه، پژوهشکده‌ی بیمه، بیمه‌ی مرکزی جمهوری اسلامی ایران، تهران.

عدل، جواد؛ قهرمانی، ابوالفضل و نسل سراجی، جبرائیل. ۱۳۸۴، ارزیابی ریسک در بخش شیرین‌سازی واحد تصفیه گاز پالایشگاه گاز. مجله‌ی دانشکده‌ی بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، جلد ۳، شماره‌ی ۴، صفحات ۱۱-۱.

حمیدرضا، علی محمدی؛ زارع، محمد صادق؛ عاملی، محمد و آخوندی، مریم. ۱۳۹۱، الگوسازی و ارزیابی ریسک واحدهای تولید روغن در پالایشگاه‌های کشور با نگرش بیمه‌ای. مجله‌ی بینش، شماره‌ی ۳۲، صفحات ۲۳-۱.

قراچورلو، نجف؛ انجمن آذری، ارسلان. ۱۳۸۷، مدیریت ریسک تکنیک‌ها و روش‌های کاربردی. تبریز، انتشارات مهر ایمان.

AIRMIC, ALARM, IRM, (2002). A Risk Management Standard.

Ali khan, A. (2006). Evaluation of Uncertainties in MOFAT for Tire 3RBCA, Faculty of Engineering and Applied Science. Ph.D Thesis, Memorial University of Newfoundland, Canada.

Arunraj, N. S., & Maiti, J. (2007). Risk – Based Maintenance- Techniques and Applications. Journal of Hazardous materials, 142, 653-661.

Barends, D. M., Oldenhof, M. T., Vredenbregt, M. J., & Nauta, M. J. (2012). Risk Analysis of Analytical Validations by Probabilistic Modification of FMEA. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 64– 65, 82– 86.

Benk, k. k., & Hamilton, A. J. (2008). Quantitative Microbial Risk Assessment: Uncertatinty and Measures of Central Tendency for Skewed Distributions. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 22, 533-539.

Bruce, E. D., Abusalih, A. A., Mcdonald, T. J., & Autenrieth, R. L. (2007). Comparing Deterministic and Probabilistic Risk Assessments for Sites Contaminated by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Journal of Environmental Science and Health Part A, 42, 697–706.

Buizza, R. (2004). Monte Carlo–Based Rrisk Aassessment. London Business School.

Burmaster, D. E., & Lehr, J. H. (1991). It's Time of Make Risk Assessment Science. Groundwater Monit, Rev, X, Summer Issue.

Chang, K. H., & Cheng, C. H. (2010). A risk Assessment Methodology Using Intuitionistic Fuzzy Set in FMEA. International Journal of Systems Science, 41,1457–1471.

Chang, K. H., & Cheng, C. H. (2011). Evaluating the Rrisk of Failure Uusing the Fuzzy OWA and DEMATEL Method. Journal of Intelligent Manufacturing, 22, 113–129.

Chin, K. S., Wang, Y. M., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009). Failure Mode and Effects Analysis Using a Group-Based Evidential Reasoning Approach. Computers& Operations Research, 36, 1768-1779.

Finkel, A. M. (1990). Confronting Uncertainty in Risk Management: A Guide for Decision Makers. Center for Risk Management, Resources for the Future, Washington DC.

Garcia. A. A., Schirru, R., & Frutuoso Melo E, P. F. (2005). Fuzzy Data Envelopment Analysis Approach for FMEA. Progress in Nuclear Energy, 46(3-4), 359-373.

Haimes, Y. Y., (2009). Risk modelling, assessment, and management. John Wiley & Sons Inc.

Khan, F. I., & Abbasi. S. A., (1998). Techniques and Methodologies for Risk Analysis in Chemical Process Industries. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 11, 261–277

Kroger, W., (2011), Determinism vs. Probabilism, Introduction to Basic Method and Structure of Probabilistic Risk Assessment (PRA), Swiss Federal Institute of Technology.

Liu, H., Lui, L., & Liu, N. (2013). Risk Evaluation Approaches in Failure Mode and Effects Analysis: A Literature Review. Expert Systems with Applications, 40, 828–838.

Mahmoudvand, R., Hassani, H., (2009). Two New Confidence Intervals for the Coefficient of Variation in a Normal Distribution. Journal of applied statistics, 36 (4), 429- 442.

Mcguinness, J. (1969). Is "Probable Maximum Loss" (PML) A Useful Concept?. Proceedings of the casualty actuarial society, lv1(105 -106), 31-40.

Montague, D.F.,(1990), Process Risk Evaluation-What Method to Use? Reliability Engineering and System Safety, 29, 27–53.

Nazir, M. (2007). Quantitative Risk Assessment of a Marine Riser: an Integrated Approach. Ph.D Thesis, Faculty of Engineering and Applied Science, Memorial University of Newfoundland.

Paustenbach, D. J. (1989). The Risk Assessment of Environmental and Human health Hazards: A Textbook of case studies. John Willy & Sons, Inc.

Reniers GLL, Dullaert W, Ale BJM, Soudan K. (2005). The Use of Current Risk Analysis Tools Evaluated Towards Preventing External Domino Accidents. Journal of Loss Prevention in the Process Industries.18, 119–26.

Scott, F., & Tucker, W. T. (2003), Reliability of Risk Analyses for Contaminated Groundwater, Groundwater Quality Modeling and Management under Uncertainty, Proceeding of the Symposium on Groundwater Management Under Uncertainty, Philadelphia, 226-235.

Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). Systematic Failure Mode Effect Analysis (FMEA) Using Fuzzy Linguistic Modelling. International Journal of Quality Reliability Management, 22, 986–1004.

Stamatelatos, M. (2000). Probabilistic Risk Assessment: What Is It And Why Is It Worth Performing It?. NASA Office of Safety and Mission Assurance, 4(05), 00.

Stamatis, D. H. (1995). Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution. New York: ASQC Press.

Su, X., Deng, Y., Mahadevan, S., & Bao, Q. (2012). An Improved Method for Risk Evaluation in Failure Modes and Effects Analysis of Aircraft Engine Rotor Blades. Engineering Failure Analysis, 26, 164–174

Tixier, J., Dusserre, G., Salvi, O., & Gaston, D. (2002). Review of 62 Analysis Methodologies of Industrial Plants. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 15, 291-303.

Vaughan E.J., Vaughan Th.M., (2003), Fundamentals of Risk and Insurance. John Willy & Sons, Inc.

Verlinden S, Deconinck G, Coupe´ B. (2012). Hybrid Reliability Model for Nuclear Reactor Safety System. Reliability Engineering and System Safety, 101, 35–4.

Vose, D. (2008). Risk Analysis. John Willy & Sons, Inc.

Wang, Y., Cheng, G., Hu, H., & Wu, W. (2012). Development of a Risk-Based Maintenance Strategy Using FMEA for a Continuous Catalytic Reforming Plant, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 25, 958-965.