ارایه روشی جدید برای بررسی بیمه‌پذیری ریسک‌های پالایشگاه گاز با استفاده از روش حالات خطا و تجزیه و تحلیل اثرات آن

شمسی قاسمی[1]
کاظم یاوری[2]
رحیم محمودوند[3]
بهرام سحابی[4]
علیرضا نعیمی[5]

چکیده

یکی از اقدامات مهم در صنعت بیمه از یک سو و صاحبان صنایع فرآیندی از سوی دیگر، تصمیم‌گیری در مورد نحوه‌ی برخورد با ریسک‌هاست. بدین منظور هر دو بیمه‌گران و بیمه‌گزاران (صاحبان صنایع فرآیندی) از روش‌های علمی مختلفی برای ارزیابی ریسک‌های خود استفاده می‌کنند. در این مقاله، تعیین بیمه‌پذیری ریسک‌ها در پالایشگاه‌های گاز با استفاده از روش حالات خطا و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA) به عنوان یک رویکرد جدید در این حوزه مورد بررسی قرار گرفته است. در این رویکرد با استفاده از توزیع عدد اولویت ریسک، کران بالای بیمه‌پذیری تعیین می‌شود. هم‌چنین با استفاده از مقررات داخلی پالایشگاه گاز و کران بالای تعیین‌شده، نوع گروه ریسک اعم از بیمه‌ناپذیر، بیمه‌پذیر و ایمن مشخص می‌شود. از میان ریسک‌های موجود، ریسک آسیب به اموال شامل تأسیسات و تجهیزات، در نظر گرفته شده و جنبه‌های محیط زیستی، حوادث انسانی، طبیعی و ریسک‌های خارجی در دامنه این بررسی قرار نگرفته‌اند. ریسک‌های اموال در پنج گروه حریق، انفجار، خطای انسانی، شکست ماشین‌آلات و نقص ظروف تحت فشار به عنوان مهم‌ترین ریسک‌های موجود در پالایشگاه گاز طبقه‌بندی شدند. بر اساس نتایج بدست آمده، سه ریسک حریق، انفجار و شکست ماشین‌آلات، بیمه‌پذیر و دو ریسک خطای انسانی و نقص در ظروف تحت فشار جزء ریسک‌های ایمن محسوب می‌شوند که نیازی به واگذاری ریسک آن‌ها به بیمه‌گر نیست.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک، حالات خطا و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA)، عدد اولویت ریسک (RPN)، بیمه‌پذیری ریسک، طبقه‌بندی ریسک، پالایشگاه گاز.

Keywords: Risk Assessment, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Risk Priority Number (RPN), Insurable Risk, Categorization of Risk, Gas Refinery.

JEL Classification: G22, D81, Q49.

[1]. دانش‌آموختهٔ دکتری اقتصاد مالی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول)
sh_ghasemi@modares.ac.ir

[2]. دانشیار، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس

[3]. استادیار، گروه آمار، دانشگاه بوعلی سینا

[4]. استادیار، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس

[5]. کارشناس ارشد مدیریت هماهنگی و نظارت بر تولید شرکت ملی گاز ایران

1- مقدمه

نفت و گاز از منابع اصلی مصرف سوخت جهان هستند به طوری‌که به ترتیب بیش از 33 درصد و 24 درصد انرژی جهان از طریق این دو منبع فراهم می‌شود (بریتیش پترولیوم، 2012). بنابراین این منابع اثرات غیر قابل انکاری در اقتصاد جهان دارند. وجود ترکیبات هیدروکربوری در ماده اولیه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و انجام طیف گسترده‌ای از عملیات در این صنایع تحت شرایط فشار بالا و حرارت بالا و در نتیجه وجود سه عامل اشتعال، انفجار و انتشار مواد سمی، زنجیره عملیات در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی را به طور مستمر تهدید می‌کند. با توجه به ماهیت عملکردی صنایع پتروشیمی و پالایشگاه‌ها که فرآیندهای آن توام با حرارت و فشار زیاد است، سنگین‌ترین خطرات و عدم اطمینان‌ها در زنجیره صنایع نفت، گاز و پتروشیمی در این حوزه‌ها وجود دارد.

از آنجا که وقوع حوادث در صنایع مزبور، موجب ایجاد آسیب و خسارت به تولید، نیروی انسانی، مواد شیمیایی، تجهیزات و در نتیجه از بین رفتن بخش بزرگی از سرمایه‌های ملی می‌گردد، شناسایی ریسک‌ها و ارزیابی آن‌ها، اولین گام در توسعه ایمنی و بهداشت در صنایع فرآیندی خواهد بود. از سویی دیگر برای پوشش ریسک صنایع نفت، گاز و پتروشیمی مانند هر صنعت دیگری، بیمه به عنوان یک ابزار، نقش مهمی در انتقال ریسک از این صنایع به‌عهده دارد که از آن طریق امکان توزیع ریسک میان بیمه‌گران و بیمه‌گزاران و یا بیمه‌گران و بیمه‌گران اتکایی فراهم می‌شود. بنابراین یکی از اهداف اصلی که شرکت‌های بیمه باید دنبال کنند، ارزیابی ریسک حوزه مورد مطالعه آن‌هاست.

با توجه به مباحث فوق، شناسایی ریسک‌ها و خطرهای موجود و در نتیجه ارزیابی ریسک در پالایشگاه گاز، مسأله اصلی مقاله حاضر خواهد بود.

وجود استانداردهای ایمنی و حمایتی در صنایع نفت و گاز برای شرایط حال و آینده اقتصاد ایران ضروری است. خسارت‌های روی‌داده در این صنایع به وضوح نشان می‌دهند که شرکت‌های بیمه باید روش‌های ارزیابی ریسک موثری را در این حوزه بکار گیرند. این موضوع که آیا پالایشگاه‌های گاز ریسک‌های خود را به شرکت‌های بیمه انتقال می‌دهند و شرکت‌های بیمه تمایل به پذیرش چنین ریسک‌هایی را دارند، موضوع مهمی از دیدگاه هر دو طرف؛ مالکین صنایع و شرکت‌های بیمه است. هدف اصلی این مطالعه روشن کردن این امکان و یا به عبارتی بررسی بیمه‌پذیری ریسک‌های مورد نظر در پالایشگاه گاز مورد مطالعه است.

روش‌های زیادی از ارزیابی ریسک واحدهای پالایشی گاز بر مبنای محاسبه احتمال و شدت وقوع خسارت و ارایه مقادیر کمی در خصوص درجه‌بندی ریسک معرفی و استفاده شده است. از آن‌جا که ریسک عموماً به تحلیل‌های احتمالی نیاز دارد، در این مقاله، از معتبرترین آن‌ها که در استانداردهای ISO (2002)[1] و OHSAS (2007)[2] نیز توصیه شده‌اند، روش حالات خطا و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA)[3]، استفاده می‌شود. قابل ذکر است که روش FMEA کاربردهای موفقیت آمیزی در مطالعات مختلف داشته است. به عنوان مثال گیماراس و لاپا[4] (2004)، یانگ[5] و و همکاران (2008)، گارگاما و چاتوردی[6] (2011)، چنک[7] و همکاران (2012) وکیک و کلیک[8] (2013) این روش را در در تحلیل‌هایشان بکار برده‌اند. اخیراً، لیو هیو چن و همکاران (2013) در مطالعه‌ای با مروری بر کارهای آکادمیک انجام شده با استفاده از این روش، به دسته بندی این مطالعات و رویکردهای مورد استفاده پرداخته‌اند. با این حال هیچ تحقیق جامعی در خصوص کاربرد FMEA برای بررسی بیمه‌پذیری ریسک‌های پالایشگاه گاز انجام نشده است.

این نوشتار به این شکل تنظیم شده است؛ در بخش بعدی مدیریت ریسک و فرآیند آن، ارزیابی ریسک و روش‌های انجام آن توضیح داده می‌شود. در بخش سوم روش FMEA توضیح داده می‌شود و بخش چهارم به کاربرد FMEA در بیمه و روش تحقیق مقاله اختصاص می‌یابد. در ادامه نتایج حاصل از روش پیشنهادی برای یکی از پالایشگاه‌های گاز ایران، در بخش پنجم، ارایه می‌شود. نتیجه‌گیری و مطالعات آتی بخش پایانی این نوشتار را به خود اختصاص می‌دهند.

2- مدیریت ریسک

از دیدگاه نظری، هر فعالیت اقتصادی توام با درجه‌ای از ریسک است. ریسک را نمی‌توان کاملاً حذف کرد، بنابراین نگرش علمی به مسأله ریسک چیزی جز مدیریت آن نیست. با توسعه بنگاه‌های اقتصادی و گسترش دامنه تجارت، مدیریت ریسک از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات اقتصادی و بازرگانی برخوردار شده است. مدیریت ریسک هزینه‌ای دارد، از این رو بنگاه‌های

1. International Organization for Standardization (ISO) (2002)
2. Occupational Health and Safety Assessment Systems (OHSAS) (2007)
3. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)
4. Guimaraes and Lapa (2004)
5. Yang (2008)
6. Gargama and Chaturvedi (2011)
7. Cheng (2012)
8. Cicek and Celik (2013)

بزرگتر که در معرض ریسک‌های بیشتری قرار دارند حاضرند هزینه‌های سنگین‌تری بابت مدیریت ریسک بپردازند. ضرورت مدیریت و کنترل بهینه ریسک در بنگاه‌های بزرگ اقتصادی و تجاری موجب شده است که مطالعات گسترده‌ای در این زمینه صورت گیرد که به سرعت در حال رشد و شکوفایی 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.

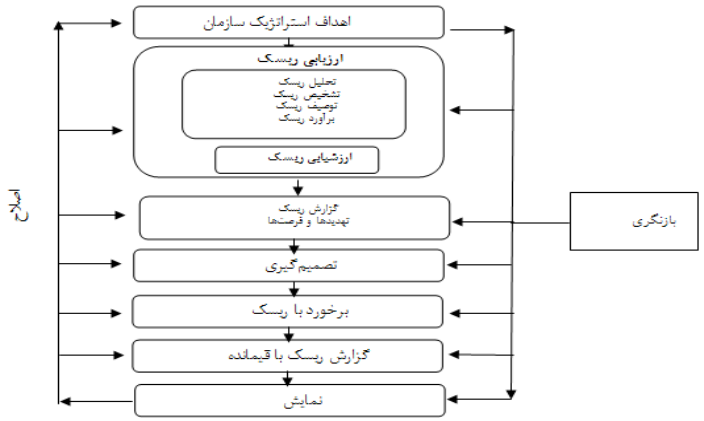
امروزه مدیریت بنگاه‌های بزرگ اقتصادی در چارچوب مباحث مدیریت ریسک بررسی می‌شود. برای تبیین بیشتر این نکته کافی است به این سوال پاسخ داده شود که چه عواملی تحولات بنگاه‌های بزرگ اقتصادی را در میان‌مدت و طولانی‌مدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. در پاسخ می‌توان به عوامل زیر اشاره کرد:

- ماهیت و گستردگی ریسک‌هایی که بنگاه اقتصادی با آن روبروست،
- گستردگی و انواع ریسک‌هایی که بنگاه اقتصادی آماده است آن‌ها را بپذیرد،
- میزان احتمال وقوع ریسک‌هایی که بنگاه اقتصادی آن را پذیرفته است،
- توانایی بنگاه اقتصادی در کاهش احتمال وقوع این ریسک‌ها،
- درجه تاثیر این ریسک‌ها بر روند تحولات بنگاه اقتصادی،
- هزینه استفاده از ابزارهای مناسب برای مدیریت کارای این ریسک‌ها،
- میزان سودی که از مدیریت این ریسک‌ها عاید بنگاه اقتصادی می‌شود.

ملاحظه می‌شود که تمام موارد فوق‌الذکر مصادیقی از مدیریت ریسک است (درخشان، 1383: 2). استاندارد مدیریت ریسک توسط کارگروهی از سازمان‌های اصلی و مهم مدیریت ریسک انگلستان تدوین شده است. اعضای این کارگروه انستیتو مدیریت ریسک (IRM)[1]، انجمن مدیران بیمه و ریسک (AIRMIC)[2] و انجمن ملی مدیریت ریسک بخش عمومی (ALARM)[3] هستند. هستند. در این استاندارد از تعریف استفاده شده برای ریسک در سند سازمان استاندارد بین‌المللی ISO[4] که در مستندات آن با عنوان راهنمای شماره 73 "مدیریت ریسک، واژگان، راهنمایی برای استفاده استانداردها" آمده، استفاده شده است. در این سند ریسک، ترکیب احتمال یک رویداد و

[1]. Institute of Risk Management (IRM)
[2]. Association of Insurance and Risk Managers (AIRM)
[3]. National Forum for Risk Management in the Public Sector (ALARM)
[4]. International Organization for Standardization (ISO)

نتایج آن تعریف شده است. فرآیند مدیریت ریسک در استاندارد مزبور به شکل زیر تعریف شده است:



شکل (1): نمودار فرآیند مدیریت ریسک (AIRMIC, ALARM, IRM, 2002)

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مدیریت ریسک بخش مرکزی و اصلی مدیریت استراتژیک هر سازمانی است. مدیریت ریسک فرآیندی است که به موجب آن سازمان‌ها به طور روشمندی ریسک‌های مرتبط با فعالیتشان را با هدف رسیدن به منافع مداوم در هر فعالیتی و در پرتفوی همه فعالیت‌ها شناسایی می‌کنند. در ادامه به اختصار، بخش ارزیابی ریسک و روش‌های آن توضیح داده می‌شود.

2-1- ارزیابی ریسک

بخشی از مدیریت ریسک که در استانداردهای مدیریت ریسک بیان شده، ارزیابی ریسک است. در فرایند طراحی شده در استاندارد مدیریت ریسک، ارزیابی ریسک[1] شامل دو بخش تحلیل (آنالیز) ریسک[2] و ارزشیابی ریسک[3] است. شناسایی ریسک[4]، توصیف ریسک[5] و نهایتاً برآورد ریسک[6]، مجموعه تحلیل ریسک را تشکیل می‌دهند. فرآیند سیستماتیکی که ریسک را بوسیله

1. Risk Assessment
2. Risk Analysis
3. Risk Evaluation
4. Risk Identification
5. Risk Description
6. Risk Estimation

مفاهیم خطر، فرایندها و رویدادها مطرح می‌کند و به شکل کیفی و کمی برآورد می‌شود، به عنوان "ارزیابی ریسک[1]" 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، 2007). امروزه استفاده از روش‌های ارزیابی ریسک در صنایع مختلف رو به گسترش است. در حال حاضر روش‌های مختلف زیادی از ارزیابی ریسک در دنیا وجود دارد که معمولاً برای شناسایی، کنترل و کاهش پیامدهای خطرات بکار می‌رود (تاکسیر[2] و همکاران، 2002؛ گولد[3] و همکارن 2000). در مطالعات این حوزه اغلب دو رویکرد قطعی[4] و احتمالی[5] (یا تصادفی[6]) ارزیابی ریسک با روش‌های روش‌های کیفی، کمّی و ترکیبی (نیمه کمّی) برای ساخت یک مدل ارزیابی ریسک معرفی و به کارگرفته شده است. مطالعات آرانراج و مایتی[7] (2007)، مارهاویلاس[8] و همکاران (2011)، نزیر[9] نزیر[9] (2007)، ووس[10] (2008)، دورگا رائو[11] (2009)، چلیا[12] (2008)، یوگ[13] و همکاران (2006)، COSO[14] (2012)، نمونه‌هایی از این مطالعات هستند. در استاندارد مدیریت ریسک نیز به دسته‌بندی روش‌های ارزیابی ریسک پرداخته شده است.

در رویکرد قطعی ورودی‌های مدل با یک برآورد نقطه‌ای مانند میانگین، میانه و غیره نمایش داده می‌شوند، اما در رویکرد احتمالی توابع چگالی احتمالی (توزیع داده‌ها) برای نمایش هر مجموعه داده استفاده می‌شود (بنک و همیلتون، 2008: 533-534). بنابراین رویکرد تصادفی یا احتمالی، عدم اطمینان را در ورودی‌ها و خروجی‌های (نتایج) مدل در نظر می‌گیرد.

در ارزیابی کیفی ریسک، شدت پیامدها و احتمال وقوع آنها هر دو به شکل کیفی (به عنوان مثال با کلماتی مانند بزرگ، متوسط و کوچک) بیان می‌شوند. در این روش از قضاوت و نظرات متخصص برای ارزش‌یابی مقادیر احتمال ریسک و اثر/ پیامد آن‌ها استفاده می‌کند (نزیر، 2007).

---

1. Risk Assessment
2. Tixier (2002)
3. Gold (2000)
4. Deterministic Approach
5. Probabilistic Approach
6. Stochastic Approach
7. Arunraj, N.S. & Maiti, J (2007)
8. Marhavilas, P.K. (2011)
9. Nazir (2007)
10. Vose (2008)
11. Durga Rao (2009)
12. Chelliah (2008)
13. Yuge (2006)
14. Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO) (2012)

تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر[1]، مطالعه خطر و قابلیت عملیاتی[2] و روش گراف خطا[3] از معروف‌ترین این روش‌ها هستند. مطالعه این روش‌ها نشان می‌دهد که آن‌ها عموماً برای شناسایی ریسک به کار رفته‌اند[4]. در روش‌های نیمه کمّی، برآورد ریسک با مقیاس‌های آماری و برخی ابزارهای ریاضی صورت می‌گیرد. به عبارتی دیگر پس از شناسایی ریسک با روش‌های کیفی، ریسک مورد نظر با معیارهای کمی برآورد می‌شود. روش‌های FMEA، درخت رویداد، درخت خطا و درخت تصمیم از روش‌های نیمه کمی هستند. روش‌های نیمه کمّی علاوه بر شناسایی ریسک برای برآورد ریسک نیز به کار می‌روند[5].

در ارزیابی کمّی ریسک، نتایج به شکل عددی (به عنوان مثال تعداد افرادی که صدمه دیده‌اند یا کشته شده‌اند) و احتمال وقوع نتایج به شکل احتمالات یا فراوانی‌ها (یعنی تعداد وقوع یا احتمال وقوع در هر واحد زمان) بیان می‌شوند (استماتلاتوس[6]، 2000). روش ریسک کمّی به روش‌های آماری و احتمالی تکیه می‌کند و ریسک بر اساس مقادیر احتمال عددی، مقداری می‌شود. ارزیابی کمّی ریسک، عدم اطمینان‌ها را در پارامترهای تعریف شده یک سیستم مهندسی پیچیده گزارش می‌دهد. طراحی‌های مهندسی مقرون به صرفه‌تر و ایمن‌تر و تدوین برنامه تعمیر و نگهداری از مزایای روش‌های کمّی هستند (نزیر، 2007). روش‌های ارزیابی ریسک نسبی[7] و ارزیابی ریسک ماتریس تصمیم[8] در دسته روش‌های کمّی ارزیابی ریسک قرار داده شده‌اند (مارهاویلاس و همکاران، 2011). هم‌چنین مدل‌های مخاطره فردی[9] و مدل‌های مخاطره جمعی[10] می‌توانند برای ارزیابی ریسک احتمالی به روش کمّی بکار روند (پرومیزلاو[11] (2011)؛ کاس[12] و همکاران (2001)؛ کلاگمن[13] و همکاران (2004)).

---

1. Preliminary Hazard Analysis (PHA)
2. Hazard & Operability study (HAZOP)
3. Graph Oriented (GO)
4. برای اطلاعات بیشتر به مطالعات چلیا (2008) و کر و اسکات (2004) رجوع شود.
5. برای اطلاعات بیشتر به مطالعات یوگ و همکاران (2006)، دورگا رائو (2009) و ووس (2008) رجوع شود.
6. Stamatelatos (2000)
7. Proportional Risk- Assessment Technique (PRAT)
8. Decision Matrix Risk Assessment Technique (DMRA)
9. Individual Risk Model
10. Collective Risk Model
11. Promislow (2011)
12. Kass (2001)
13. Klugman (2004)

با توجه به اینکه اطلاعات تاریخی کافی برای تحلیل‌های ارزیابی ریسک قطعی در نمونه مورد مطالعه (پالایشگاه‌های گاز کشور) وجود نداشته و با توجه به ماهیت ریسک‌های این حوزه که از ریسک‌های با شدت زیان بالا بوده که نیاز به منابع قابل توجهی برای پیشگیری و جبران دارند، این مقاله رویکرد ارزیابی ریسک احتمالی را با روش نیمه کمّی FMEA، به عنوان ابزاری موثر برای ارزیابی چنین ریسک‌هایی، مبنای شناسایی، برآورد و تحلیل نتایج قرار می‌دهد.

3- روش حالات خطا و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA)

FMEA به معنی تجزیه و تحلیل امکان بروز خطا و اثرات آن، تکنیک تحلیلی است که جهت تشخیص، کاهش و حذف خطاها و مشکلات بالقوه و بالفعل موجود در سیستم، طراحی محصول، فرآیند تولید یا خدمت قبل از رسیدن آنها به دست مشتری به کار می‌رود (استماتیس[1]، 1995). ملاحظه می‌شود اولین کاربرد این روش برای شناسایی ریسک (خطا) در یک سیستم است.

نظام FMEA اولین بار در ارتش ایالات متحده برای صنایع هوا و فضا مطرح شد. دستورالعمل‌هایی[2] تحت عنوان" تجزیه و تحلیل عوامل شکست و اثرات آن" در نهم نوامبر 1949 تهیه شد. از این دستورالعمل در ارزیابی قابلیت اطمینان در تعیین خرابی تجهیزات و اثرات آن بر سیستم استفاده می‌شد (سهرابی، 1388). پس از معرفی این روش به عنوان ابزاری پشتیبان برای طراحان، صنایع گوناگونی شامل؛ هواپیمایی، خودرو، هسته‌ای، الکترونیکی، شیمیایی (بویژه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی)، مکانیکی و پزشکی به طور گسترده‌ای از این روش استفاده نموده‌اند (شارما[3] و همکاران (2005)؛ چاین[4] و همکاران (2009)؛ چنگ و چینگ[5] (2011)، چنگ و چینگ 2010)).

یکی از مزیت‌های این روش نسبت به سایر روش‌های نیمه کمّی ارزیابی ریسک، توجه به عوامل خطا (شکست) علاوه بر اثرات و پیامدهای حاصل از خطا است. در حالی که این مهم در روش درخت رویداد و درخت تصمیم در نظر گرفته نمی‌شود. در این روش‌ها، پیامدهای خروجی بعد از وقوع، برای هر یک از رخدادهای انتخابی نمایش داده شده و تجزیه و تحلیل می‌شوند. هم‌چنین در مقایسه با روش درخت خطا که برای کشف خطا و یافتن علت رخداد خطا بسیار مفید است

[1]. Stamatis (1995)

[2]. عنوان لاتین این دستورالعمل MIL-STD-1629 بوده است.

[3]. Sharma (2005)

[4]. Chin (2009)

[5]. Chang and Cheng (2011)

(ووس، 2008: 40) به لحاظ محاسباتی روشی ساده‌تر است. در روش درخت خطا، پس از تهیه ترکیب‌های مختلفی از رویدادها که باعث خرابی سیستم می‌شوند، کوچک‌ترین مجموعه انقطاع[1] برای حادثه نهایی درخت خطا تعیین می‌شود. سپس احتمال و فراوانی حوادث نهایی و رویدادهای نامطلوب محاسبه می‌شود. هم‌چنین احتمال وقوع هر کدام از مجموعه‌های انقطاع مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدست آوردن احتمال رویداد رأس[2] به طور دقیق تحلیلی مهم در ارزیابی است و برای سیستم‌هایی با مقیاس بزرگ و ساختاری پیچیده مانند واحدهای شیمیایی، راکتورهای هسته‌ای و هواپیماها مسأله‌ای دشوار است (یوگ[3] و همکاران، 2006: 364). از آنجا که روش FMEA مانند سایر روش‌های نیمه کمّی ارزیابی ریسک از نظرات خبرگان حوزه مورد مطالعه برای شناسایی ریسک‌ها، علت و پیامدهای وقوع ریسک استفاده می‌کند، از این رو عواملی مانند نحوه‌ی انتخاب افراد خبره می‌تواند نتایج و اعتبار این روش را مانند سایر روش‌های مبتنی بر نظر خبرگان، تحت تاثیر قرار دهد. از این رو در این پژوهش، با لحاظ مزایای برشمرده شده و نقص بیان شده، این روش به عنوان روشی کارا و موثر از میان سایر روش‌های ارزیابی ریسک انتخاب گردید.

در این روش پس از شناسایی و استخراج ریسک‌ها، عدد اولویت ریسک[4] RPN برای هر حالت بالقوه خطا و اثر آن با ضرب سه عامل شدت اثر (S)[5] احتمال وقوع (O)[6] و قابلیت کشف خطا (D)[7] به شکل زیر تعیین می‌شود.

$$RPN = S \times O \times D \qquad (1)$$

این سه عامل با مقیاسی از یک تا 10 که در جداول یک تا 3 شرح داده شده است، درجه‌بندی می‌شوند. عدد اولویت ریسک، مبنای اولویت بندی حالات خرابی می‌باشد. با توجه به اینکه سه

---

[1]. مجموعه انقطاع (Cut Sets)، مجموعه‌ای متشکل از عضوهای سیستم است که ایجاد خطا در آن‌ها باعث بروز خطا در سیستم می‌شود. به بیان دیگر این مجموعه شامل رویدادهایی است که رخ دادن مجموع آنها، باعث رخ دادن حادثه نهایی می‌شود. علت نامیده شدن این مجموعه انقطاع این است که عضوهای این مجموعه، عضوهایی از سیستم هستند که خطا در آنها، موجب انقطاع همه مسیرها از ورودی به خروجی می‌شود. در تحلیل کیفی درخت خطا، تأکید عمده بر ارایه کامل کوچک‌ترین مجموعه‌های انقطاع می‌باشد.

[2]. Top Event
[3]. Yuge
[4]. Risk Priority Number (RPN)
[5]. Severity
[6]. Occurrence
[7]. Detection

عامل فوق می‌توانند اعدادی بین 1تا10 اختیار کنند، RPN رقمی بین 1 تا1000 خواهد داشت. مقادیر RPNهای بالا برای یک حالت خرابی، ریسک بیشتر در قابلیت اطمینان سیستم/ محصول را نشان می‌دهند. برای RPNهای بالا، تیم ارزیابی باید اقدامات اصلاحی مقتضی جهت کاهش آن اتخاذ نماید و فارغ از نتیجه RPN، توجه خاص می‌بایست معطوف به شکست‌هایی شود که شدت آن بالا است. به منظور کنترل کارایی اقدامات اصلاحی برای حالت‌های خرابی و اطمینان از کاهش ریسک مورد نظر، RPNها باید مجدداً محاسبه گردند (لیو هیو چن و همکاران، 2013).

جدول 1: درجه‌بندی شدت خسارت

رتبه	اثر	معیار: شدت اثر
10	خطرناک	درجه خطر بسیار شدید و بدون علائم هشدار دهنده است. در این حالت سیستم موقتا متوقف می‌شود و/ یا مورد پذیرش مقررات نیست.
9	وخیم	خرابی، پیامدهای خطرناکی دارد و / یا مورد پذیرش مقررات دولتی یا استانداردها نیست.
8	خیلی زیاد	درجه خطر شدید و غیر قابل کنترل و با خسارت در فرآیندهای اصلی همراه است. سیستم غیر قابل بهره‌برداری است.
7	زیاد	عملکرد تولید/ محصول بشدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد جز فرآیندهای اصلی سیستم ممکن است عمل نکند.
6	قابل توجه	عملکرد محصول ضعیف شده است. فرآیندهای آسان ممکن است عمل نکنند.
5	متوسط	اثر متوسط بر عملکرد تولید/ محصول وجود دارد. محصول نیاز به اصلاح دارد.
4	کم	اثر کم بر عملکرد تولید/ محصول وجود دارد. محصول نیاز به اصلاح ندارد.
3	خیلی کم	اثر خیلی کم بر عملکرد سیستم یا محصول دارد.
2	ناچیز	اثر ناچیزی بر عملکرد سیستم یا محصول دارد.
1	هیچ	بدون اثر

منبع: لیو هیو چن و همکاران (2013)

جدول 2: درجه‌بندی احتمال وقوع خسارت

رتبه	احتمال وقوع خسارت	نرخ‌های احتمالی خسارت
10	خیلی زیاد: خسارت تقریباً حتمی‌الوقوع است	1 از 2 و بیشتر از آن
9	خیلی زیاد	1 از 3
8	خیلی زیاد	1 از 8
7	زیاد	1 از 20
6	قابل توجه	1 از 80
5	متوسط	1 از 400
4	کم	1 از 2000
3	خیلی کم	1 از 15000
2	ناچیز	1 از 150000
1	هیچ	1 از 1500000 و کمتر از آن

منبع: لیو هیو چن و همکاران (2013)

جدول 3: درجه‌بندی کشف خسارت

رتبه	کشف	معیار: احتمال کشف با کنترل‌های طرح‌ریزی اولیه
10	عدم اطمینان قطعی	علل بالقوه خسارت یا خسارت‌های بعدی در کنترل‌های طرح اولیه قابل کشف نیست؛ یا هیچ‌گونه کنترل در طرح‌ریزی وجود ندارد.
9	خیلی جزئی	کنترل خیلی جزئی در طرح‌ریزی اولیه وجود دارد.
8	جزئی	کنترل جزئی در طرح‌ریزی اولیه وجود دارد.
7	خیلی کم	کنترل خیلی کم در طرح‌ریزی اولیه وجود دارد.
6	کم	کنترل کم در طرح‌ریزی اولیه وجود دارد.
5	متوسط	کنترل متوسط در طرح‌ریزی اولیه وجود دارد.
4	متوسط رو به بالا	کنترل متوسط رو به بالا در طرح‌ریزی اولیه وجود دارد.
3	زیاد	کنترل زیاد در طرح‌ریزی اولیه وجود دارد.
2	خیلی زیاد	کنترل خیلی زیاد در طرح‌ریزی اولیه وجود دارد.
1	تقریبا مطمئن	کنترل خیلی مطمئنی برای آشکار شدن خرابی و خسارت در طرح‌ریزی اولیه وجود دارد.

منبع: لیو هیو چن و همکاران (2013)

4- کاربرد FMEA در صنعت بیمه

تصمیم‌گیری صنایع برای خرید بیمه به منظور پوشش ریسک‌های موجود از یک سو و پذیرش یا عدم پذیرش ریسک‌ها توسط شرکت‌های بیمه از سویی دیگر، مساله‌ای است که در این مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد. FMEA روشی کارا است که بیمه‌گذار و بیمه گر هر دو می‌توانند برای ارزیابی ریسک بکار ببرند. متدولوژی تحقیق با تاکید بر این مسأله در ادامه توضیح داده می‌شود.

4-1- متدولوژی

برای اجرای روش FMEA و محاسبه RPNها تیمی متشکل از افراد خبره آشنا به فرآیندهای محصول و ارزیابی ریسک، نخست فرآیند محصول و طراحی فرآیند صنعت مورد نظر را مورد بررسی و بازبینی قرار می‌دهند. سپس روش اجرایی شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک با استفاده از استانداردهای ISO (2002) و OHSAS (2007) تهیه و تدوین می‌شود. بر اساس روش اجرایی تدوین شده، کاربرگ طراحی شده برای اجرای FMEA در همه بخش‌های عملیاتی و غیر عملیاتی صنعت تکمیل می‌گردد. نمونه ای از فرم طراحی شده FMEA در شکل (2) نشان داده شده است.

کاربرگ اجرای FMEA										
نام واحد:	اعضای تیم:			شماره بازنگری:					تاریخ بازنگری:	
نام سیستم(قسمت):		نام فعالیت:							سطح ریسک قابل قبول:	
ردیف	مراحل انجام فعالیت	خطرات بالقوه	علت / علت های خطر	پیامد / پیامد های خطر	مکانیزمهای حفاظتی موجود		(S)شدت	(O)احتمال وقوع	(D)احتمال کشف	عدد اولویت ریسک (RPN)	اقدام کنترلی / پیشنهادی
					پیشگیرانه	تشخیصی					
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

شکل (2): نمونه فرم FMEA

تیم ارزیابی ریسک امتیاز مربوط به فاکتورهای S، O و D را بر اساس جداول یک تا سه تعیین و در ستون مخصوص فرم FMEA درج می‌نمایند. تعیین امتیازهای فوق از طریق مصاحبه با مسئولین و مبتنی برتجربیات فنی آن‌ها (با لحاظ تکنولوژی بکار رفته در هر فعالیتی) و جمع‌آوری داده‌های آماری انجام می‌شود.

سپس عدد اولویت ریسک (RPN) مربوط به هر ریسک با استفاده از رابطه (1) محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه برای هر عامل ریسک رتبه‌ای بین یک تا 10 تعریف شده است، بنابراین RPN عددی بین یک تا 1000 خواهد داشت. روشن است که اعداد مزبور 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. این موضوع در ادامه با استخراج تابع توزیع نظری RPN بررسی و پاسخ داده خواهد شد.

4-1-1- توزیع احتمال RPN

توزیع احتمال RPN با فرض استقلال بین سه فاکتور S، O و D به شکل زیر حاصل می‌شود:

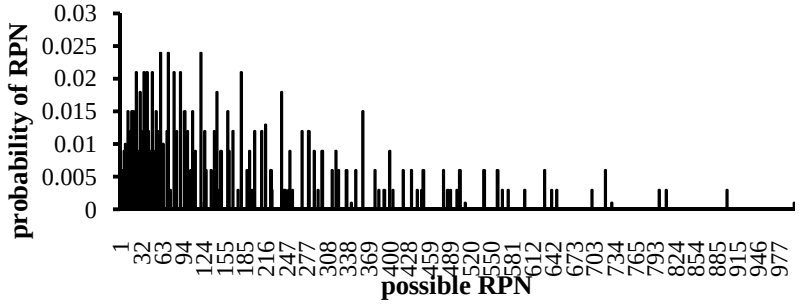
rpn	۱	۱	...	۹۰۰	۱۰۰۰	sum
$p(RPN = rpn)$	p_1	p_2	...	p_{900}	p_{1000}	1

که در آن برای مدل یکنواخت داریم:

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

نکته قابل توجه این است که RPN نمی‌تواند همه مقادیر بین یک تا 1000 را داشته باشد. با در نظر گرفتن همه ترکیبات ممکن از سه فاکتور فوق، ملاحظه می‌شود که تنها 120 عدد از اعداد بین یک تا 1000 برای RPN تولید می‌شود. این در حالی است که 1000 عدد برای RPN حاصل می‌شود اما اغلب آن‌ها اعداد تکراری هستند. به عنوان مثال RPN نمی‌تواند عددی بین 900 تا 1000 داشته باشد.

نمودار (1)، توزیع احتمال RPN را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که RPNهای کوچک‌تر، احتمال بیشتری نسبت به RPNهای با مقادیر بزرگ‌تر دارند. هم‌چنین محور عمودی نمودار نشان می‌دهد که RPN توزیع چند مدی (سه مد) دارد.



نمودار (1): توزیع احتمال RPN

برای بدست آوردن مرز بالای[1] بیمه پذیری توسط بیمه‌گر، از مفهوم مقدار حداکثر خسارت (زیان) ممکن[2] (PML) استفاده می‌شود. حداکثر خسارت ممکن در یک قرارداد بیمه معین، نسبت حد تعهدی است که مساوی یا بزرگتر از مقدار زیان پوشش داده شده در قرارداد می‌باشد (مگ گینز، 1969).

[1]. Upper bound
[2]. Probable Maximum Loss (PML)

با توجه به این‌که RPN مقدار ریسک را نشان می‌دهد می‌توان آن را به عنوان نماینده خسارت یا زیان در نظر گرفت. بنابراین توزیع احتمال این متغیر برای بدست آوردن مرز بیمه‌پذیری مناسب خواهد بود. قابل ذکر است که احتمال مربوط به PML تنها یک دامنه (دامنه بالا[1]) از توزیع فراوانی زیان‌ها را در بر می‌گیرد. با اعمال این قاعده برای توزیع احتمال RPN، مقدار PML در سطح اطمینان 95%، عدد 500 بدست می‌آید. یعنی:

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

به عبارتی عدد 500 مرز بالای بیمه‌پذیری توسط بیمه‌گر خواهد بود.

قابل توجه است که PML بدست 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. از طرف دیگر، بر اساس مقررات صنایع (مانند پالایشگاه گاز در ایران) ریسک‌هایی با عدد اولویت ریسک کمتر از 100 نیاز به اقدام اصلاحی و ایمنی ندارند، به این‌گونه ریسک‌ها ریسک‌های ایمن در صنایع گفته می‌شود. بنابراین، به طور خلاصه می‌توان ریسک‌ها را در صنعت مورد نظر به شکل زیر دسته‌بندی نمود:

- ریسک‌های بیمه ناپذیر: ریسک‌هایی با RPN های بیشتر از 500.
- ریسک‌های بیمه پذیر: ریسک‌هایی با RPN های بین 100 و 500. این ریسک‌ها نیاز به اقدامات ایمنی از سوی صنعت دارند.
- ریسک‌های ایمن و قابل تحمل: ریسک‌هایی با RPN کمتر از 100.

یکی از مهم‌ترین اصولی که در ارزیابی ریسک بر اساس روش FMEA باید در نظر گرفته شود این است که فرآیندهای مزبور هرگز پایان نمی‌پذیرد و منابع جدید ریسک به علت وجود عدم اطمینان‌ها، باید به عنوان طبقات اضافی یا عناوین جدید اضافه شود.

بر اساس دسته‌بندی انجام شده فوق در صنعت، نوع گروه ریسک (شامل؛ ریسک‌های بیمه ناپذیر، بیمه پذیر و ایمن) تعیین می‌شود. هر گروه ریسک شامل تعدادی ریسک همگن بوده که نخست، متوسط سه فاکتور S، O و D در هر گروه ریسک تعریف شده با استفاده از رابطه (2) محاسبه می‌شود:

[1]. Upper end

$$\bar{S}_j = {}^1/_{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} S_{ij} \qquad \bar{O}_j = {}^1/_{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} O_{ij} \qquad \bar{D}_j = {}^1/_{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} D_{ij} \qquad (2)$$
$$j = 1, \dots, 5$$

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 رابطه (1) بر اساس مقادیر متوسط محاسبه شده ($\bar{S}_j$، $\bar{O}_j$ و $\bar{D}_j$) برآورد می‌شود.

5- مطالعه تجربی

ایران با بیش از 151.2 میلیارد بشکه ذخایر اولیه اثبات شده هیدروکربور مایع و 33.1 تریلیون فوت مکعب گاز طبیعی در پایان سال 2011 (بریتیش پترولیوم، 2012) به ترتیب سومین و دومین کشور دارنده ذخایر هیدروکربوری در دنیاست. درآمدهای نفتی بخش عمده‌ای از درآمدهای کشور را تشکیل می‌دهد. علی‌رغم رشد صادرات محصولات غیر نفتی در دهه گذشته، نفت هنوز عمده‌ترین منبع درآمد ارزی کشور بوده به طوری‌که حدود 80 درصد از درآمدهای ارزی کشور و بیش از 40 درصد درآمد بودجه عمومی دولت در سال‌های اخیر از طریق درآمدهای حاصل از صدور نفت تأمین شده است[1]. همین امر نفت را به یک موضوع اساسی و حیاتی برای کشور بدل نموده است. به طور کلی کاهش درآمدهای نفتی موجب نامطلوب شدن وضعیت ارزی کشور و در نتیجه کاهش واردات واسطه‌ای، افت تولید و نیزکاهش واردات سرمایه‌ای و کاهش سرمایه‌گذاری می‌شود. بنابراین، حفاظت از صنایع نفت و گاز در حال حاضر و آینده برای اقتصاد ایران ضروری است. از نمونه حوادث فاجعه‌آمیز و خسارت‌های بوقوع پیوسته در صنایع نفت گاز ایران می‌توان به وقوع حادثه انفجار کوره گوگردسازی پالایشگا اصفهان، فوران نفت و گاز از چاه شماه 24 نفت‌شهر، انفجار و آتش‌سوزی چاه شماره 104 مارون، انفجار مخزن شماره 13 پایانه‌های مواد نفتی شرکت OTC[2] اشاره نمود. وجود 8 پالایشگاه نفت و 13 پالایشگاه گاز در ایران حکایت از ریسک‌ها و خطرات قابل توجهی در مکان‌های فعالیت آن‌ها دارد که مثال‌های

[1]. نماگرهای اقتصادی، 1390، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران ص 13.

[2]. http://www.shana.ir

فوق تنها نمونه‌هایی از این ریسک‌ها هستند. بنابراین شرکت‌های بیمه باید روش‌های ارزیابی ریسک موثری را در این حوزه بکار گیرند.

در این مقاله یک پالایشگاه گاز در کشور به عنوان نمونه به منظور اجرای روش FMEA که در بخش 3 توضیح داده شد، انتخاب شده است. این روش در پالایشگاه نمونه در سال 1390 اجرا شد و داده‌های به دست آمده مبنای محاسبات و تحلیل‌های این مقاله قرار گرفته است. بر اساس متدولوژی تحقیق، نخست اعداد اولویت ریسک (RPN) گروه‌های ریسک که توسط افراد خبره در پالایشگاه گاز مورد مطالعه - به عنوان طرف بیمه‌گذار- بدست آمده، محاسبه می‌شود، سپس نوع گروه ریسک از دیدگاه بیمه‌گر تعیین می‌شود. در پایان نتایج بدست آمده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در بخش بعدی روش طبقه‌بندی ریسک‌های حاصل شده در پالایشگاه گاز نمونه شرح داده می‌شود.

5-1- طبقه‌بندی ریسک

گروه‌بندی حدود 300 ریسک اموال به 5 گروه ریسک از عمده‌ترین کارهای انجام شده در این پژوهش است. به منظور دسته‌بندی ریسک‌ها اطلاعات دقیقی از فرآیند پالایشگاه گاز مورد نیاز است. در پالایشگاه گاز واحدهای عملیاتی مختلفی برای تولید محصولات و فرآورده‌های متنوع طراحی و ساخته شده است. به طور کلی این واحدها به سه دسته اصلی شامل واحدهای اصلی (فرآیندی)، واحدهای پشتیبانی (یوتیلیتی) و واحدهای جانبی تقسیم می‌شوند.

واحدهای اصلی که وظیفهٔ فرآوری خوراک پالایشگاه و تولید محصولات میانی و نهایی را بر عهده دارند عموماً شامل مجموعه واحدهای تاسیسات دریافت، مجموعه واحدهای فراوری گاز، مجموعه واحدهای تصفیه و مجموعه بازیافت گوگرد و تولید گوگرد جامع هستند. واحدهای پشتیبانی عبارتند از: واحد تولید و توزیع انرژی الکتریکی (نیروگاه)، واحد تولید و توزیع بخار، واحد تأمین سوخت گازی، واحد تأمین هوا، واحد نیتروژن، واحد دریافت آب از دریا، واحد نمک زدایی از آب دریا، واحد تصفیه آب، واحد تأمین آب آشامیدنی، واحد تصفیه پساب، واحد تأمین آب آتش‌نشانی، واحد دیزل، واحد تأمین آب سرد. و نهایتاً واحدهای جانبی کلیه واحدهای غیر فرآیندی که وظیفه پشتیبانی واحدهای فرآیندی و یوتیلیتی را برعهده دارند شامل می‌شوند. مشعل‌ها، مخازن میعانات گازی، سیستم تخلیه و حوضچه سوخت، ذخیره و صدور محصولات، تأمین مواد مصرفی و حذف ضایعات در زیرمجموعه واحدهای جانبی قرار می‌گیرند.

پردازش هیدروکربن‌ها در پالایشگاه گاز به علت تجمع جریان‌های گرمایشی، حرارتی، فشاری و تبخیری و درگیر شدن مواد با قابلیت‌های بالای اشتعال‌پذیری در فرآیند مختلف، پتانسیل بالقوه احتمال وقوع خطرات را افزایش می‌دهد. به هر میزان که سیستم‌های ایمنی و پیشگیری خطرات و کنترل حوادث بهینه‌تر شود، ضریب احتمال حادثه‌پذیری کاهش یافته، اما به‌طور یقین در هیچ موقعیتی این احتمال به صفر نمی‌رسد. ماهیت ریسک‌های این حوزه عمدتاً تواتر کم و شدت بسیار بالا می‌باشد. تأسیسات صنعتی و نیز سیستم‌های تکنولوژیک بایستی به‌گونه‌ای طراحی، ساخته و بهره‌برداری شوند که تا حد امکان مردم، محیط زیست و نسل‌های آینده از پی‌آمدهای نامطلوب وقوع حوادث در آنها در امان بمانند.

به‌طور کلی خساراتی که در اثر وقوع خطرات منجر به زیان می‌شوند، عبارتند از:

الف) خسارات مالی[1] (P.D)

ب) خسارات جانی[2] (B.I)

الف) خسارات مالی: این نوع خسارت بر دو قسمت است: خسارات مستقیم[3] و خسارات غیر مستقیم[4].

خسارات مستقیم خساراتی هستند که مستقیماً در اثر وقوع یک حادثه منجر به زیان مالی به بخش یا بخش‌هایی از واحدهای مختلف ریسک می‌شود. خسارات غیر مستقیم خساراتی هستند که شامل خسارات توقف در تولید[5] و هم‌چنین خسارات عدم‌النفع[6] می‌باشد که علاوه بر خسارات مستقیم موجب از دست دادن بازار فروش در شرایط رقابتی در بلندمدت[7] می‌گردد.

ب) خسارات جانی: نیروهای متخصص و مجرب در تولید ممکن است در جریان حوادث دچار جراحت، نقص عضو و یا فوت شوند که این امر در کشورهای نفت‌خیز در حال توسعه بیشتر اتفاق می‌افتد و باید هزینه‌های جبران این‌گونه خسارات نیز در هزینه‌های ریسک منظور گردد (حبیبی، 1388).

شایع‌ترین انواع ریسک‌های ممکن در پالایشگاه گاز عبارتند از:

---

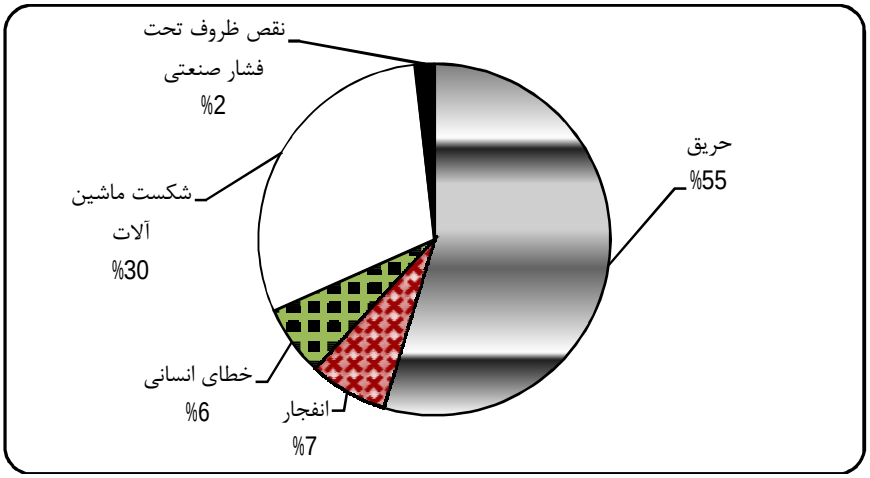
1. Property Damage
2. Bodily Injury
3. Direct Loss
4. Indirect Loss
5. Business Interruption
6. Loss of Profit
7. Advance Loss of Profit

- آتش‌سوزی و انفجار
- نشت مواد
- مواد شیمیایی مخاطره‌آمیز[1]
- وجود فضاهای محدود[2]
- پاک‌کردن مخزن
- مخاطرات ناشی از گاز دی اکسید کربن
- خطای انسانی
- شکست ماشین‌آلات
- نقص ظروف تحت فشار صنعتی
- خطرات طبیعی (شامل؛ زلزله، سیل و آب‌گرفتگی، طوفان، صاعقه)
- خطرات خارجی (شامل؛ جنگ و تروریسم، آلودگی ناشی از مواد رادیواکتیو، سلاح‌های الکترومغناطیسی، حملات سایبری، تحریم‌ها)

پالایشگاه‌های گاز کشور، به عنوان یکی از بیمه‌گذاران بزرگ تحت پوشش بیمه قرار می‌گیرند. شرکت‌های بیمه کشور، ریسک‌های حریق، صاعقه، انفجار، شکست ماشین‌آلات، خطا و غفلت، نقص ظروف تحت فشار صنعتی و خطرات طبیعی (شامل؛ زلزله، سیل و طغیان، طوفان، صاعقه، فوران آتش‌فشان) را به عنوان خطرات اصلی و تبعی تحت پوشش قرار می‌دهند. خطرات خارجی فوق جزء استثنائات در بیمه نامه بوده که تحت پوشش بیمه‌گران ایرانی قرار نمی‌گیرند. در این مطالعه با نگرش بیمه‌ای کلیه ریسک‌های شناسایی شده در پالایشگاه نمونه به روش FMEA در 5 گروه حریق، انفجار، خطای انسانی، شکست ماشین‌آلات و نقص ظروف تحت فشار صنعتی طبقه‌بندی می‌شود. 4 گروه اول به عنوان خطرات اصلی و ریسک آخر به عنوان خطر تبعی (در صورت نیاز بیمه‌گذار با حق بیمه بالاتر) در بیمه نامه پالایشگاه پوشش داده می‌شوند. ریسک‌های طبیعی و محیط زیستی، ریسک‌های غیر مستقیم مالی و ریسک‌های جانی (حوادث انسانی) در دامنه 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 غیر عملیاتی شناسایی شده‌اند صرفنظر شده است. در دامنه تعریف شده، در گروه ریسک‌های حریق،

[1]. Hazardous Chemicals
[2]. Confined Spaces

انفجار، خطای انسانی، شکست ماشین‌آلات و نقص ظروف تحت فشار صنعتی به ترتیب 152، 20، 18، 83 و 5 نوع ریسک شناسایی شده است (نمودار 2). ملاحظه می‌شود که گروه ریسک‌های حریق و شکست ماشین‌آلات بیشترین ریسک‌های پالایشگاه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند.



نمودار (2): سهم گروه‌های ریسک در ریسک‌های مورد مطالعه در پالایشگاه نمونه

اعداد اولویت ریسک (RPN) محاسبه شده مربوط به 5 طبقه ریسک در جدول 4 نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقادیر مربوط به ستون $C.V/\sqrt{n}$ برای همه گروه‌های ریسک (با داده‌های مثبت) به میزان قابل توجهی کمتر از یک هستند. از طرفی محمودوند و حسنی (2009) نشان دادند که:

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

بنابراین میانگین برآورد شده برای همه‌ی گروه‌های ریسک، اعتبار آماری[1] داشته و می‌تواند مبنای محاسبات قرار گیرد (n تعداد نمونه و C.V ضریب تغییرات است).

[1]. برای اثبات این موضوع به منبع (محمودوند و حسنی، 2009) رجوع شود.

جدول 4: اعداد اولویت ریسک در گروه‌های ریسک برای پالایشگاه گاز نمونه

گروه ریسک	تعداد ریسک‌ها				RPN	$C.V/\sqrt{n}$	نوع گروه ریسک
حریق	152	6.11	4.76	3.96	115.17	**0.04**	بیمه‌پذیر
انفجار	20	8.85	3.45	5.15	157.24	**0.11**	بیمه‌پذیر
خطای انسانی	18	6.94	3.56	3.39	83.68	**0.18**	ایمن
شکست ماشین‌آلات	83	6.16	4.25	3.89	101.90	**0.06**	بیمه‌پذیر
نقص ظروف تحت فشار	5	8.60	2.20	3.40	64.33	**0.14**	ایمن
کل	278	6.42	4.39	3.98	112.11	**0.04**	بیمه‌پذیر

2-5- نتایج و بحث

محاسبات انجام شده نشان می‌دهد که:

1. مقدار RPN برای همه‌ی گروه‌های ریسک مورد نظر کمتر از 500 بدست آمده است. به این معنی 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 اکثر 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 نمایند.
2. با وجود این‌که بیشترین ریسک‌های اموال در پالایشگاه مورد مطالعه در گروه ریسک‌های با ماهیت حریق قرار گرفته‌اند نمودار (2)، ملاحظه می‌شود گروه انفجار در میان طبقه‌های ریسک، بیشترین مقدار عدد اولویت ریسک را به خود اختصاص داده است. وجود ریسک‌هایی با شدت اثر خطرناک همراه با هشدار و قابلیت کشف متوسط (احتمال ردیابی و کشف ریسک‌های این گروه با کنترل‌های موجود تنها برای بیش از نیمی از موارد وجود دارد) در این گروه نسبت به سایر گروه‌های ریسک، بالا بودن این مقدار را موجب شده است. بنابراین به نظر می‌رسد اعمال اقدامات پیشگیرانه مکفی در واحدهای فرآیندی بویژه در بخش‌های پالایش و شیرین‌سازی، آب و بخار، آنالوگ آب و بخار و مشعل‌ها مورد نیاز است. هم‌چنین افزایش توانایی سیستم در شناسایی

مکانیزم‌های وقوع خطر برای ریسک‌های با ماهیت انفجار با تقویت سیستم‌های کنترلی تجهیزات با نظر متخصصان، بویژه در بخش‌های نیروگاه و کمپروسورهای پالایشگاه مورد مطالعه، در کاهش این مقدار ضروری به نظر می‌رسد.

3. برای دو گروه ریسک نقص ظروف تحت فشار و خطای انسانی به ترتیب عدد اولویت ریسک پایین‌تر از 100 حاصل شده که نشان‌دهنده‌ی ایمنی کافی در واحدهای درگیر با این ریسک‌ها است. با وجود شدت بالای ریسک ظروف تحت فشار که بیشتر در واحدهای پالایش و شیرین‌سازی، آب و بخار، تعمیرات اساسی و HSE احتمال وقوع دارند، به علت احتمال بالای ردیابی خطر با وجود مکانیزم‌های ردیابی و احتمال وقوع کم و نسبتاً نادر به علت تکنولوژی مناسب، این گروه ریسک جزء ریسک‌های قابل تحمل برای پالایشگاه هستند اما بر اساس دستورالعمل اجرایی پالایشگاه، به علت داشتن رتبه 10 در شاخص شدت خسارت در برخی از واحدهای پالایشگاه باید اقدام اصلاحی مناسب انجام پذیرد. آموزش کافی به پرسنل، رعایت نکات ایمنی، استفاده از سیستم‌های هشدار دهنده به میزان کافی عامل اصلی در مناسب بودن سطح ریسک خطای انسانی در پالایشگاه نمونه بوده است.
4. طبقه ریسک شکست ماشین‌آلات بعد از گروه ریسک حریق، بیشترین ریسک‌های اموال (آسیب به تاسیسات و تجهیزات) را در پالایشگاه موجب شده‌اند. اما با این حال عدد ریسک نسبتا کوچکی را حاصل نموده است. وجود سرویس‌های پیشگیرانه و دوره‌ای تعمیرات و نگهداری و انجام تعمیرات اساسی در دوره‌های سالیانه و امکان کنترل سیستم توسط شیرهای اطمینان خودکار، نرخ احتمال وقوع خسارت بسیار پایین (بین 1 از 400 و 1 از 2000) و قابلیت کشف نسبتاً زیاد این گروه ریسک (جدول 4) را در پالایشگاه موجب شده است.
5. به طور کلی در پالایشگاه گاز مورد مطالعه، کل ریسک‌های اموال پالایشگاه بیمه‌پذیر هستند. بنابراین شرکت‌های بیمه می‌توانند تامین مالی این گروه از ریسک‌ها را در پالایشگاه به عهده داشته باشند.

6- نتیجه‌گیری

روش FMEA روشی برای تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان و ضمانت کارکرد اجزاء در سیستم‌ها و زیر مجموعه‌های آنها است. این روش می‌تواند به عنوان یک روش نیمه کمی ارزیابی ریسک احتمالی در پالایشگاه‌های گاز با نگرش بیمه‌ای کاربرد بسیار مهمی برای پذیرش یا عدم پذیرش ریسک‌ها توسط بیمه‌گران پیدا نماید. تفکیک ریسک‌ها در مجموعه پالایشگاه‌های گاز کشور از نظر بیمه‌گران می‌تواند بسیار اهمیت داشته باشد، زیرا با تفکیک ریسک‌ها به نوعی ریسک بسیار بزرگی مانند پالایشگاه به چندین ریسک کوچک تقسیم شده و علاوه بر امکان بررسی دقیق‌تر ریسک‌ها توسط بیمه‌گران، نفع بیمه‌گذارن بزرگ از نظر نرخ و شرایط را نیز بدنبال خواهد داشت. علاوه بر این تعیین عدد اولویت ریسک (RPN) برای گروه‌های ریسک به جای هر ریسک می‌تواند در مدیریت بهتر ریسک‌ها در پالایشگاه گاز موثر باشد. در این مقاله یک رویکرد جدید برای تشخیص بیمه‌پذیری ریسک‌ها بر مبنای توزیع RPN ارائه شد. به علاوه ریسک‌های اموال در پالایشگاه گاز نمونه شناسایی شد، ریسک‌های شناسایی شده به 5 گروه ریسک تقسیم شده و عدد اولویت ریسک مربوط به هر گروه ریسک محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در پالایشگاه گاز مورد مطالعه سه ریسک حریق، انفجار و شکست ماشین‌آلات، بیمه‌پذیر و دو ریسک خطای انسانی و نقص در ظروف تحت فشار جزء ریسک‌های ایمن محسوب می‌شوند که نیازی به واگذاری ریسک آنها به بیمه‌گر نیست.

تدوین و استقرار سیستم‌های مدیریت تضمین کیفیت (ISO 9000)، مدیریت ایمنی و بهداشت حرفه‌ای (OHSAS 18001)، مدیریت محیط زیست (ISO 14000) و مدیریت HSE کارا، شرایط ایمنی را در پالایشگاه نمونه فراهم کرده است. هم‌چنین وجود زیرساخت‌های ایمنی مناسب و فن‌آوری مهندسی (تکنولوژی) مناسب در اکثر واحدهای پالایشگاه، سبب شده است تا شرکت‌های بیمه ریسک‌های این پالایشگاه را مطلوب دانسته و انتقال ریسک از این مجموعه را به عهده بگیرند.

قابل ذکر است که تفکیک ریسک‌ها به بیمه ناپذیر، بیمه‌پذیر و ریسک‌های ایمن به حداکثر RPN قابل قبول (مقدار 500 در این مطالعه) توسط شرکت‌های بیمه بستگی دارد. این مقدار ممکن است برای همه صنایع یکسان نباشد.

نتایج بدست آمده دلالت بر این مسأله دارند که پالایشگاه‌های گاز علیرغم ریسک‌های بالا، عموماً در بازار بیمه، بیمه‌پذیر هستند و سیاست‌گذاران بخش اقتصاد انرژی کشور باید توجه ویژه‌ای به

این موضوع مهم داشته باشند. بیمه کردن پالایشگاه‌های گاز با حق بیمه قابل قبول، قطعاً زیان‌های انسانی و سرمایه‌ای را کاهش می‌دهد و عدم واگذاری ریسک‌های این حوزه به صنعت بیمه، زیان‌های هنگفتی برای اقتصاد و بویژه برای صنعت نفت و گاز کشور به همراه خواهد داشت.

مطالعات آتی

همان‌طور که در مقاله بیان شد، FMEA روشی نیمه کمّی در برآورد ریسک بوده که به عنوان یک ابزار مفید در پذیرش یا عدم پذیرش ریسک پالایشگاه‌های گاز یا هر صنعت دیگری توسط بیمه‌گران استفاده می‌شود. تعیین دقیق نرخ‌های حق بیمه، مطالعات بیمه را به استفاده از روش‌های کمّی در ارزیابی احتمالی ریسک سوق داده است. مدل‌های مخاطره جمعی از دسته این روش‌ها هستند. بکارگیری این نوع مدل‌ها برای بیمه‌گذاران بزرگی مانند پالایشگاه گاز بویژه در حالت عدم وجود اطلاعات تاریخی کافی در مجموعه‌های مورد مطالعه (بویژه صنعت نفت، گاز و پتروشیمی) در تعیین نرخ‌های حق بیمه توصیه می‌شود.

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 می‌نمایند.

منابع و مآخذ

الف) منابع و مآخذ فارسی

1. حبیبی، مجید (1388). "تنوع خطرات و ریسک‌های بیمه‌پذیر در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی". دومین همایش بیمه و مدیریت ریسک در نفت، گاز و پتروشیمی تهران، 16-17 آذرماه 1388.
2. درخشان، مسعود (1383). *مشتقات و مدیریت ریسک در بازارهای نفت*. تهران: مؤسسه مطالعات بین-المللی انرژی.
3. سهرابی، مجتبی (1388). "روش‌های ارزیابی ریسک بررسی و تحلیل مدل‌های FTA & FMEA". دومین همایش بیمه و مدیریت ریسک در نفت، گاز و پتروشیمی تهران، 16-17 آذرماه 1388.
4. نماگرهای اقتصادی (1390). بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.

ب) منابع و مآخذ لاتین

1. AIRMIC, ALARM, IRM (2002). A Risk Management Standard is Extracts from the Document PD ISO/IEC Guide 73.
2. Arunraj, N.S., Maiti, J. (2007). "Risk–based Maintenance- Techniques and Applications". Journal of Hazardous Materials **142**: 653-661.
3. Benk, k.k., Hamilton, A.J. (2008). "Quantitative Microbial Risk Assessment: Uncertatinty and Measures of Central Tendency for Skewed Distributions". Stoch Environ Res Risk Assess **22**: 533.
4. *BP statistical Review of World Energy* (2012). BP P.L.C, London. Available in bp.com/statisticalreview.
5. 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.
6. Chang, K. H., Cheng, C. H. (2011). "Evaluating the Risk of Failure Using the Fuzzy OWA and DEMATEL Method". Journal of Intelligent Manufacturing **22**: 113–129.
7. Chelliah, S. (2008). *Safety – Reliability – Risk Assessment: Preliminary Hazard Analysis*. Available in http://www.pdhongineer .com.
8. Cheng, Y., Hu, G., Wu, G.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.
9. 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.

10. Cicek, K., Celik, M. (2013). "Application of Failure Modes and Effects Analysis to Main Engine Crankcase Explosion Failure on-board Ship". Safety Science **51**: 6–10.
11. Curtis, P., Carey, M. (2012). *Risk Assessment in Practice*, Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO).
12. Durga Rao, k. (2009). "Dynamic Fault Tree Analysis Using Monte Carlo Simulation in Probabilistic Safety Assessment". Reliability Engineering and System Safety **94**: 872-883.
13. Gargama, H., & Chaturvedi, S. K. (2011). "Criticality Assessment Models for Failur Mode Effects and Criticality Analysis Using Fuzzy Logic". IEEE Transactions on Reliability **60**: 102–110
14. Gold, J., Glossop, M., Loannides, A. (2000). *Review of Hazard Identification Techniques*. Health and Safety laboratory.
15. Guimaraes, A. C. F., & Franklin Lapa, C. M. (2004). "Effects Analysis Fuzzy Inference System in Nuclear Problems Using Approximate Reasoning". Annals of Nuclear Energy **31**: 107–115. http://www.shana.ir
16. Kass, R. et al. (2001). *Modern Actuarial Risk Theory*, Kluwer Academic Publishers.
17. Kerr, A. G., Skates, A. (2004). *Hazop & Operability Study Procedure DRD Water Service*, Document Reference 5009594/100/DG/01 FC: Ver 1.
18. Klugman, A., Panjer, H., Willmot, E. (2004). *Loss Model from Data to Decisions*, Second Edition, John Willy & Sons, Inc.
19. Liu, Hu-Chen., Lui, Long., Liu, Nan. (2013). "Risk Evaluation Approaches in Failure Mode and Effects Analysis: A Literature Review". Expert Systems with Applications **40**: 828–838.
20. 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.
21. Marhavilas, P.K., Koulouriotis, D. Gemeni, V. (2011). "Risk Analysis and Assessment Methodologies in the Work Sites: On a Review, Classification and Comparative Study of the Scientific Literature of the Period 2000-2009". Journal of Loss Prevention in the Process Industries **24**: 477-523
22. Mcguinness, J. (1969). "Is probable Maximum Loss (PML) A Useful Concept?" . Proceedings of the Casualty Actuarial Society lv 1(105 &106): 31-40.
23. Nazir, Muddassir (2007). *Quantitative Risk Assessment of a Marine Riser: an Integrated Approach*, Ph.D thesis, Memorial University of Newfoundland Occupational Health and Safety Assessment, Series BS OHSAS 18001:2007, BSI, British Standard.

24. *Petroleum and Natural Gas Industries – Offshore Production Installations Guidelines on Tools and Techniques for Hazard Identification and Risk Assessment*, BE EN ISO 17776:2002.
25. Promislow, s. David (2011). *Fundamentals of Actuarial Mathematics*, Second editions, John Wiley &Sons Ltd.
26. Sharma, R. K., Kumar, D., & Kumar, P. (2005). "Systematic Failure Mode Effect Analysis (FMEA) Using Fuzzy Linguistic Modeling". International Journal of Quality Reliability Management 22: 986–1004.
27. Stamatelatos, M. (2000). *Probabilistic Risk Assessment: What Is It and Why Is It Worth Performing It*? .NASA Office of Safety and Mission Assurance.
28. Stamatis, D. H. (1995). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*, New York: ASQC Press.
29. 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.
30. Vose, D. (2008). *Risk Analysis*, Third Edition, John Wiley & Sons, Ltd.
31. Yang, Z., Bonsall, S., & Wang, J. (2008). "Fuzzy Rule-based Bayesian Reasoning Approach for Prioritization of Failures in FMEA". IEEE Transactions on Reliability **57**: 517–528.
32. Yuge, T., Tagami, K., and Yanagi, S. (2006). "Calculating Top Event Probability of a Fault Tree with Many Repeated Events". Journal of Quality in Maintenance Engineering **12**(4)