



ارزیابی ریسک در فرآیندهای شیمیایی

سبا تهامی^۱ و عباس رشیدی^{۲*}

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران، tahami_saba@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران، rashidi@umz.ac.ir
* نویسنده مسئول مکاتبات

کلمات کلیدی

حوادث
ارزیابی ریسک
آنالیز مخاطرات
و راهبردی
آنالیز درخت
خطا فرآیندهای
شیمیایی

چکیده

صنایع فرآیندی اغلب با مواد شیمیایی پرخطر و واحدهای عملیاتی تحت شرایط دما و فشار بالا سروکار دارند، بنابراین احتمال وقوع حوادث در آن ها بسیار زیاد است. در صنایع شیمیایی، با توجه به گستردگی آن ها، تعداد کارکنان زیاد، وجود حجم قابل توجهی از مواد هیدروکربنی و شیمیایی گوناگون که در شرایط عملیاتی حاد قرار دارند، پتانسیل ایجاد حوادث بسیار عظیمی از بعد تعداد تلفات، میزان خسارات و بعد مسافتی زیاد وجود دارد. به منظور پیشگیری از صدمات و کشف مخاطراتی که منجر به بروز حوادث می شوند و نیز برای تحلیل ریسک واحدهای صنعتی به تدابیر خاص و روش های سیستماتیک نیاز است تا با شناسایی عمده عوامل، به کاهش حوادث کمک نماید. ارزیابی ریسک روشی پرکاربرد به منظور مدیریت ابزارهای موثر در ایمنی واحدهای فرآیندی در جهت کاهش ریسک ناشی از حوادث مختلف می باشد. روش های مهم ارزیابی ریسک در فرآیندهای شیمیایی عبارتند از: روش چک لیست، روش پرسش، آنالیز مخاطرات و راهبردی، آنالیز درخت خطا، آنالیز درخت رویداد، روش پایبونی، ارزیابی مقدماتی خطر، آنالیز لایه های حفاظتی و روش تریپود بتا. در این تحقیق روش های مذکور مورد بحث و بررسی قرار گرفته و نحوه اجرا، کاربرد، مزایا و معایب برای هر روش بیان شده است. بررسی های انجام شده نشان می دهد که آنالیز مخاطرات و راهبردی و آنالیز درخت خطا مطمئن ترین روش های ارزیابی ریسک در فرآیندهای شیمیایی می باشند.



1- مقدمه

پیشرفت و توسعه تکنولوژی، تغییرات زیادی را در جامعه پدید آورده است. برخی از پیشرفت ها موجب اصلاحاتی در جامعه بشری شده است و برخی دیگر، اثرات مخربی را به بار آورده اند[1]. [نیاز به تولید اقلام مختلف کالا باعث گسترش روزافزون صنایع در قرن بیستم گردید، همچنین توسعه کارخانه ها و افزایش سرعت تولید، موجب پدید آمدن مشکلات ایمنی و به تبع آن ها خسارت های مالی و سوانح جانی گردید، از این رو صاحبان صنایع درصدد حذف این ضایعات برآمدند[2].

به گواهی آمار و ارقام، میزان خسارات و صدمات انسانی، اقتصادی و زیست محیطی ناشی از حوادث صنعتی در جهان بسیار زیاد است. سالانه در جهان حدود 250 میلیون حادثه شغلی (تقریباً معادل 658000 حادثه در روز) رخ می دهد که منجر به غیبت های ناشی از کار می شود. طبق آمار منتشر شده از سوی سازمان بین المللی کار¹، سالانه حدود 160 میلیون کارگر دچار بیماری های ناشی از شغل خود می شوند و حدود 1 میلیون نفر به دلیل این بیماری ها جان خود را از دست می دهند. در ایران سالانه حدود 14000 حادثه ناشی از کار اتفاق می افتد که از این تعداد بالغ بر 120 مورد فوت و 150 مورد از کار افتادگی کلی به علت حوادث می باشد. با توجه به ضوابط بین المللی که هر مورد فوت یا از کار افتادگی کلی را معادل 6000 تا 7500 روز از دست رفته کاری فرض می کند، لذا در طی یک سال، بالغ بر 400 سال کاری را از دست می دهیم[3].

صنایع فرآیندی اغلب با مواد شیمیایی پرخطر و واحدهای عملیاتی تحت شرایط دما و فشار بالا نظیر راکتورها و تانک های ذخیره سروکار دارند. بنابراین احتمال وقوع حوادثی از قبیل انفجار و آتش سوزی در آن ها بسیار زیاد است[4]. در صنایع شیمیایی، با توجه به گستردگی آن ها، تعداد کارکنان زیاد، وجود حجم قابل توجهی از مواد هیدروکربنی و شیمیایی گوناگون که در شرایط عملیاتی حاد قرار دارند، پتانسیل ایجاد حوادث بسیار عظیمی از بعد تعداد تلفات، میزان خسارات و بعد مسافتی زیاد وجود دارد[5]. رویدادهایی مانند حادثه ی شیمیایی بوپال² در هندوستان، فلیکسبرو³ در انگلستان، توکوباما⁴ در ژاپن و چرنوبیل⁵ در اوکراین و صدها حادثه کوچک و بزرگ دیگر در سراسر دنیا، از سویی باعث شد صنایع شیمیایی به عنوان یکی از خطرناک ترین صنایع برای دولت ها مطرح شوند و از سوی دیگر منجر به اقدامات جدی صنایع و ایمن سازی هر چه بیشتر کارخانه ها گردید. پیدایش بیشتر روش های تحلیل ریسک⁶ به این دوره باز می گردد[2]. برای جلوگیری از وقوع حادثه، ابتدا باید حادثه و سایر مفاهیم اولیه در این زمینه را به درستی شناخت. یک حادثه که منجر به تلفات قابل توجه انسانی (صدمه یا مرگ) می گردد، گاهی اوقات با صدمه مالی چشمگیر و/یا تأثیرات زیست محیطی بسیاری همراه می باشد[6]. عموم افراد در واژگان روزمره از عبارت ریسک به معنای "رخداد یک حادثه بد" استفاده می کنند. هنگامیکه این واژه در فرایند ارزیابی ریسک مورد استفاده قرار می گیرد، معانی ویژه ای دارد که مقبول ترین آن ها "ترکیبی از احتمال یا تکرار رخداد یک خطر مشخص و بزرگی پیامد رخداد" می باشد[7]. در واقع ریسک ترکیبی از سه مورد است: چه چیزی می تواند خطا باشد؟ تا چه اندازه می تواند زیان آور باشد؟ و چه تعداد دفعات ممکن است رخ دهد؟[6]. از سویی دیگر، خطر می تواند به صورت "پتانسیل ایجاد صدمه و خسارت" و همچنین "یک ویژگی یا موقعیتی که در شرایط خاص می تواند منجر به صدمه و خسارت شود" تعریف گردد[7]. در واقع خطر عبارت است از شرایط شیمیایی یا فیزیکی که پتانسیل ایجاد آسیب به افراد، اموال یا محیط زیست را دارا می باشد[6].

نگرش یا عملکرد ایمنی سرپرست، شرایط روحی یا روانی کارگر و همچنین شرایط جسمی کارگر از علل سهیم در حادثه و اعمال و شرایط نایمن به عنوان علل مستقیم حادثه می باشند. تأخیر در تولید و ریخت و پاش مواد، صدمات کلی ناتوان کننده و صدمات جزئی، از پیامدهای حادثه می باشند که موجب پیش آمدن خسارات و افزایش هزینه ها می گردند. از هزینه های مستقیم حادثه می توان به هزینه های درمان پزشکی، غیبت از کار فرد حادثه دیده و هزینه های تعمیر ماشین آلات صدمه دیده اشاره نمود. از هزینه های غیر مستقیم حادثه نیز می توان به هزینه های مربوط به وقت و زمانی که همکاران برای کمک رسانی به مصدومان صرف می نمایند، هزینه های لازم برای دفع مواد زائدی که در جریان حادثه تولید شده است و هزینه های بازسازی سیستم اشاره نمود. مجموع هزینه های مستقیم و غیر مستقیم، کل هزینه های یک حادثه را تعیین می نماید. برآوردها در کشور آمریکا نشان داده اند که هزینه های غیر مستقیم معمولاً ۴ برابر هزینه های مستقیم حوادث می باشند[1].

ارزیابی ریسک در گستره وسیعی از حرفه ها و مطالعات بکار برده می شود. مهندسان، ارزیابی ریسک را به منظور تعیین احتمال و اثر شکست اجزا انجام می دهند؛ کارکنان رفاه اجتماعی، ارزیابی ریسک را

¹ International Labor Organization (ILO)

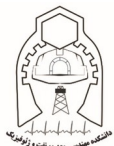
² Bhopal

³ Felixborough

⁴ Tokoyama

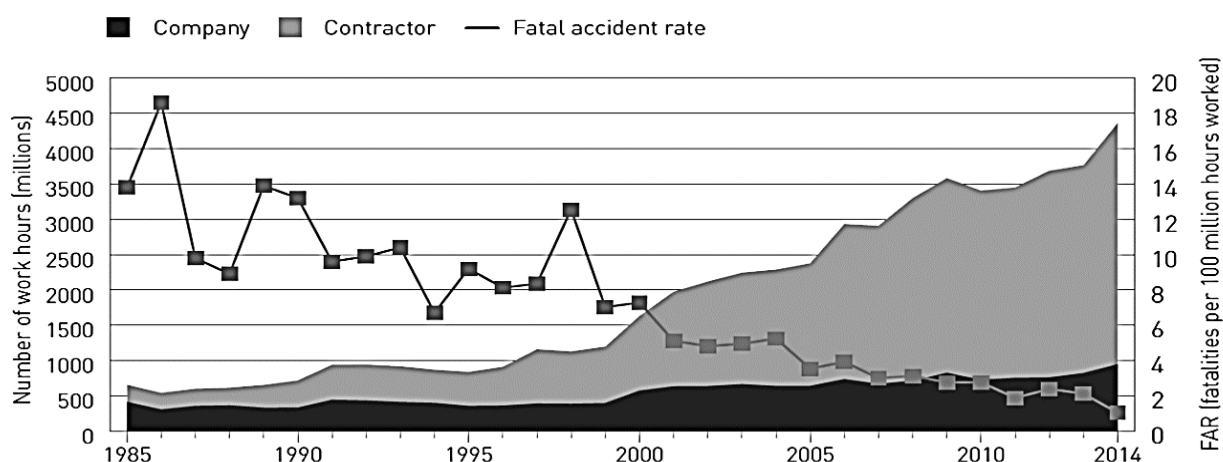
⁵ Chernobyl

⁶ Risk



برای تعیین احتمال بازرخداد رفتارهای مخالف اصول اجتماعی بکار می برند [7]. به منظور پیشگیری از صدمات و کشف مخاطراتی که منجر به بروز حوادث می شوند و نیز برای تحلیل ریسک واحد های صنعتی به تدابیر خاص و روش های سیستماتیک نیاز است تا با شناسایی عمده عوامل، به کاهش حوادث کمک نماید [3]. [ارزیابی ریسک روشی پرکاربرد به منظور مدیریت ابزارهای موثر در ایمنی واحدهای فرایندی در جهت کاهش ریسک ناشی از حوادث مختلف می باشد [8].

مدیریت ایمنی فرایند¹، برای کاهش ریسک حوادث بزرگ و ارتقاء عملکرد صنایع شیمیایی دارای اعتبار بسیار می باشد [6]. صنعت نفت و گاز پیشرفت بسیار موثری در زمینه ایمنی اشتغال داشته است. همانطور که در شکل 1 مشاهده می گردد، نرخ تلفات در شرکت های عضو انجمن بین المللی تولید کنندگان نفت و گاز² کاهش چشمگیری در سال های گذشته داشته است. کاهش حوادث فرایندی بزرگ نسبت به ایمنی اشتغال کمتر بوده است و خسارات مرتبط با حوادث بزرگ در صنایع فرایندی و صنایع نفت و گاز در 30 سال گذشته کاهش نیافته است. روش های متداول ریسک تمرکز بیشتری بر ایمنی طراحی داشته و توجه آن ها بر ایمنی بهره برداری کمتر می باشد [9].



شکل 1: نرخ تلفات ناشی از حوادث در مقابل تعداد ساعات کاری [9].

با توجه به اینکه کشور ما یکی از بزرگترین تولید کنندگان نفت و گاز جهان می باشد و نیز پتانسیل تبدیل شدن به قطب پتروشیمی جهان را دارد، افزایش روزافزون صنایع شیمیایی در آن استفاده از روش های ایمنی را به عنوان پارامتر مهمی در تولید محصولاتی با کیفیت بالاتر و نیز با هزینه های نهایی کمتر ضروری می سازد. بنابراین توجه به روش های ایمنی در صنایع شیمیایی بسیار حائز اهمیت می باشد [2]. در این تحقیق روش های ارزیابی ریسک مهم در فرایندهای شیمیایی مورد بحث و بررسی قرار می گیرند و نحوه اجرا، کاربرد، مزایا و معایب برای هر روش بیان می گردد.

2- روش های ارزیابی ریسک در فرایندهای شیمیایی

روش های مهم ارزیابی ریسک در فرایندهای شیمیایی عبارتند از: روش چک لیست³، روش پرسش⁴، آنالیز مخاطرات و راهبردی آنالیز درخت خطا⁵ آنالیز درخت رویداد⁶ روش پایبونی⁸، ارزیابی مقدماتی خطر آنالیز لایه های حفاظتی¹⁰ و روش تریپود بتا¹¹. تمام این تکنیک ها به دنبال این هدف هستند که اطمینان حاصل شود سیستم یا فرایند، تحت شرایط ریسک قابل قبول طراحی شده و عمل می کند [10]. در ادامه به شرح هر یک از روش های مذکور می پردازیم.

¹ Process Safety Management (PSM)

² International Association of Oil and Gas Producers (IOGP)

³ Check-List

⁴ What If

⁵ Hazard and Operability Analysis (HAZOP)

⁶ Fault Tree Analysis (FTA)

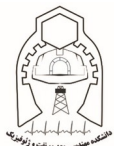
⁷ Event Tree Analysis (ETA)

⁸ Bow-Tie

⁹ Preliminary Hazard Assessment (PHA)

¹⁰ Layer Of Protection Analysis (LOPA)

¹¹ Tripod beta



2-1- روش چک لیست

آنالیز چک لیست مجموعه سؤال های طراحی شده ای است که در فهم سریع و کامل فرایند به کاربران کمک می نماید. در طراحی این لیست، از استانداردها، حوادث قبلی و تجربه متخصصان اعم از طراح و اپراتور استفاده می شود. هر چه میزان تجربه طراحان چک لیست بیشتر باشد، جنبه های بیشتری از مخاطرات بررسی می گردد. چک لیست معمولاً به عنوان مرحله اولیه برای سه آنالیز دیگر یعنی پرسش، آنالیز بالقوه خرابی و آنالیز مخاطرات و راهبردی مطرح است و به کارشناسان ایده های لازم برای ارزیابی را می دهد البته برای اجرای ارزیابی های کمی خطر¹ نیز مورد استفاده می باشد. چک لیست علاوه بر صنایع شیمیایی تقریباً در تمامی صنایع کاربرد دارد اما در صنایع شیمیایی بیشتر به عنوان یک آزمون روزانه در واحدها اجرا می شود. چک لیست را می توان برای هر جزئی از فرایند مانند تجهیزات، دستورالعمل ها، مواد شیمیایی و فرایند اصلی و در هر مرحله از عمر فرایند، از زمان طراحی اولیه تا طول مدت بهره برداری استفاده نمود [2].

چک لیست ها اغلب به روش هایی که توصیف با جزئیات بیشتری را در هر مرحله فراهم می آورند افزوده می شود. این توصیفات شامل اطلاعات مرتبط با خطرات و شرح کامل تری از کنترل های وابسته به خطرات می باشد [6].

روش چک لیست به دلیل سادگی، کم هزینه بودن، مطابقت سریع و آسان با استانداردهای طراحی و جلوگیری از تکرار حوادث گذشته در صورت استفاده از اطلاعات افراد با تجربه، از مقبولیت بالایی برخوردار است و در بسیاری از موارد بر سایر روش ها ترجیح داده می شود. اما باید این نکات را نیز در نظر گرفت که این روش راهکاری برای یافتن نقاط جدید خطر به کاربر ارائه نمی دهد و احتمال کمی وجود دارد که تمام مراکز خطر در واحد با این روش شناسایی شده باشند [2].

2-2- روش پرسش

اساس این روش طرح سؤالاتی با عبارت ساده "چه می شود اگر...؟" و یافتن پاسخ های واقعی و دقیق آن ها می باشد. نام واقعی این روش از عبارت "اگر این امر رخ دهد پیامدهای آن چه خواهد شد" مشتق شده و هدف اصلی آن اعمال توجه و تمرکز به اثرات رویدادهای ناخواسته بر روی سیستم می باشد. در صورتیکه این تکنیک توسط افراد با تجربه و دارای دانش کافی از سیستم اجرا شود، می تواند یک ابزار بسیار مفید در تجزیه و تحلیل ایمنی سیستم ها باشد. قبل از اجرای این روش، بر اساس اهداف مطالعه سطوح مختلف کارکردی تعریف می شود و به عبارت دیگر برای تمرکز بیشتر و بهتر، سیستم به بخش های کوچکتری تقسیم می شود و سپس مجموعه سؤالات برای هر سطح کارکردی مطرح می گردد. برای شناسایی راحت تر خطرات موجود در سیستم می توان از چک لیست های ایمنی مختلفی نیز استفاده نمود. همچنین چک لیست ها را می توان به عنوان مبنا برای طرح سؤالات روش پرسش مورد استفاده قرار داد. برای تسریع کار لازم است همزمان با طرح سؤالات و یافتن جواب های آن ها، نتایج بدست آمده مستندسازی شوند [11]. [مرکز ایمنی فرایندهای شیمیایی² ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۹۲ از روش پرسش به طور رسمی در ارزیابی های خود استفاده نمود.

روش پرسش، توان بالایی در ارزیابی مخاطرات فرآیندی دارد و با سرعت قابل قبولی در هر عملیات، تجهیزات و فرایند قابل اجرا است اما قاعده اجرایی مشخصی ندارد و ممکن است در حین اجرا موجب سردرگمی مجریان شود. همچنین به گروهی متخصص و آشنا با فرایند نیاز داشته و هزینه و زمان اجرای آنالیز نیز زیاد می باشد [2].

2-3- آنالیز مخاطرات و راهبردی

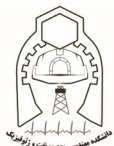
آنالیز مخاطرات و راهبردی به عنوان یکی از پرکاربردترین روش های ارزیابی ریسک می باشد که با دید سیستماتیک به ارزیابی ایمنی سیستم های فرایندی می پردازد. آنالیز مخاطرات و راهبردی تکنیک شناسایی، ارزیابی و کنترل خطرات است و بر این اصل استوار می باشد که سیستم زمانی ایمن است که کلیه پارامترهای عملیاتی آن نظیر فشار، درجه حرارت، میزان جریان و ... در حالت طبیعی قرار داشته باشد. بنابراین هدف از اجرای این تکنیک، شناسایی خطرات بالقوه و مشکلات عملیاتی است که امکان دارد در اثر انحراف پارامترهای عملیاتی از شرایط طرح شده در سیستم های جدید یا اصلاح شده رخ دهد. این تکنیک برای اولین بار توسط صنایع شیمیایی پادشاهی انگلستان معرفی و سپس توسط کلتز³ در سال ۱۹۸۶ و نولتون⁴ در سال ۱۹۹۲ به صورت قانونمند ارائه گردید. اگرچه این آنالیز اولین بار به منظور شناسایی و ارزیابی خطرات فرایندی معرفی گردید و بکار گرفته شد اما کاربرد آن به سایر صنایع نیز گسترش یافته است [11].

¹ Quantitative Risk Analysis (QRA)

² Center for Chemical Process Safety (CCPS)

³ Kletz

⁴ Knowlton



مراحل مختلف آنالیز مخاطرات و راهبردی فرآیندی عبارت است از:

- بازنگری دیاگرام های جریان مربوط به فرآیند مورد مطالعه
- تقسیم سیستم به زیرسیستم های متناسب
- شناسایی انحرافات احتمالی با بکارگیری کلمات کلیدی
- یافتن نتایج و مستندسازی آن ها

ارزیابی مخاطرات و راهبردی را در تمام مراحل طراحی، اجرا و بهره برداری از واحد می توان انجام داد اما بهتر است این آنالیز در مراحل اولیه طراحی اجرا شود. از این روش برای ارزیابی مخاطرات در صنایع مختلف فرآیندی استفاده می شود اما معمولاً توصیه می گردد در واحدهایی که شامل تجهیزات ذیل می باشند حتماً این آنالیز اجرا شود:

- صناعی که با مواد سمی و یا به شدت خورنده کار می کنند مانند واحد آمین
- سیستم های تزریق گاز
- سیستم های حمل و نقل گاز مانند تانکر، کشتی و ...
- واحدهای تولید گاز نفتی مایع¹
- واحدهای فراوری گاز مایع طبیعی²
- مخازن ذخیره سازی گاز
- پالایشگاه ها

شاید به جرات بتوان گفت که آنالیز مخاطرات و راهبردی کامل ترین و جامع ترین روش کیفی ارزیابی مخاطرات است. داشتن قالب مشخص و توانایی بررسی تمام اجزای واحد، دسته بندی مخاطرات و نیمه کمی کردن نتایج (در صورت استفاده از ماتریس ریسک) از فاکتورهای مثبت این روش به شمار می آیند. البته این روش دارای نقاط ضعف نیز می باشد از جمله هزینه بالا جهت اجرا، مدت زمان طولانی اجرا و وابستگی شدید به تجربه گروه که تا حدی از مقبولیت آن می کاهد؛ با وجود این شرایط، همچنان این روش به عنوان بهترین و کارآمدترین روش ارزیابی ریسک مطرح است [2].

4-2- آنالیز درخت خطا

مهم ترین روش برای جلوگیری از تکرار یک حادثه، بررسی و شناسایی عوامل سببی و علت های اساسی و از همه مهم تر پیدا نمودن تمام ریشه های عوامل حادثه می باشد. روش درخت خطا توانایی تشخیص نحوه ایجاد علت های بروز واقعه را دارد [12]. درخت خطا یکی از پرکاربردترین شیوه های تحلیل قابلیت اطمینان است. این روش به صورت نموداری می باشد و متشکل از کلیه علل منطقی است که می تواند هر یک به تنهایی و یا با هم، منجر به یک رویداد اصلی³ گردد. درخت خطا رویه ای قیاسی برای تعیین ترکیبات مختلف خطاهای انسانی، سخت افزاری و نرم افزاری است که منجر به وقوع رویداد نامطلوب مشخصی (رویداد راس) در سیستم می گردد [2].

آنالیز درخت خطا برای اولین بار در سال 1962 توسط نیروی هوایی آمریکا ارائه گردید و به صورت آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت [12]. در سال های بعد تکنیک درخت خطا توسط شرکت هواپیمایی بوئینگ به صورت قانونمند درآمد. در سال ۱۹۷۵ از این روش در تجزیه و تحلیل خطرات موجود در صنایع شیمیایی استفاده گردید. در این تحقیق توانایی تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا در شناسایی و ارزیابی علل حادثه رها شدن گازها و بخارات سمی در یک کارخانه تولید سموم نباتی، راه را برای استفاده از تکنیک یاد شده در صنایع دیگر هموارتر نمود [2]. امروزه این روش در اکثر صنایع بزرگ با سیستم های ایمنی پیشرفته استفاده می شود و اکثراً به صورت مکمل و آمیخته با دیگر آنالیزها مورد استفاده قرار می گیرد؛ بطوریکه نتایج بدست آمده در این روش، به عنوان ورودی برای دیگر روش ها استفاده می شود [12].

- اهداف اصلی این روش در پنج مورد خلاصه می شود [13]:
- فعالانه و به روش قیاسی (از کل به جزء) حالت های نقص را جستجو می کند.
- چگونگی نقص عملکرد سیستم را به صورت تصویری نمایش می دهد.
- جنبه های بحرانی سیستم را نشان می دهد.
- مرجعی برای ارزیابی اصلاحات سیستم فراهم می آورد.
- مبنایی سیستماتیک برای تجزیه و تحلیل های کمی ایجاد می کند.

یک درخت خطا را می توان همیشه به معادلات هم ارزی از معادلات منطقی تبدیل کرد. مشخصات کمی و کیفی مستقیماً از درخت خطا بدست نمی آیند بلکه از معادلات منطقی هم ارز با آن درخت بدست خواهند آمد [2]. روش درخت خطا به دلیل ماهیت منطقی خود، هر دو ارزیابی کمی و کیفی را پوشش داده و مکمل

¹ Liquefied Petroleum Gas (LPG)

² Liquid Natural Gas (LNG)

³ Top Event



مناسبتی برای روش های کیفی محسوب می شود. قابلیت فوق العاده ی تحلیل این روش به نحوی است که اگر توسط تیمی ماهر متشکل از متخصصان فرایند، عملیات، ایمنی، بازرسی فنی و تعمیر و نگهداری استفاده شود، منجر به نتایج شگفت آوری خواهد شد [14].

در روش درخت خطا رویداد اصلی (نقص یا حادثه ای که باید تجزیه و تحلیل شود) در بالای درخت خطا قرار می گیرد. توالی رویدادها به وسیله دروازه های منطقی (عملگرها) "و"، "یا" و سایر انواع دروازه ها بیان می شود. در نهایت توالی رویدادها به یک علت اولیه ختم می شود که اطلاعات مربوط به نقص آن را می توان بدست آورد [13]. منطق "و" نشان می دهد که واقعه خروجی تنها در زمانی رخ می دهد که هر دو واقعه ورودی به طور همزمان اتفاق افتند و مفهوم منطق "یا" عبارت از این است که واقعه خروجی زمانی اتفاق می افتد که یکی از وقایع ورودی به تنهایی یا هر دوی آن ها به طور همزمان اتفاق افتند [1].

مراحل تجزیه و تحلیل به روش درخت خطا عبارت است از:

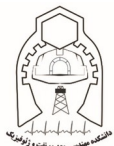
- تشریح و درک سیستم: سیستم می بایست از لحاظ مرزبندی مشخص باشد و توابع ورودی و خروجی آن باید شناسایی گردد [12]. اطلاعات دقیق و جزئی درباره کلیه اجزاء سیستم، اثرات متقابل فیزیکی و کارکردی میان اجزاء و شرایط طبیعی و غیر طبیعی را می توان از منابع مختلف نظیر نقشه ها، نمودارها، لیست اجزاء، دستورالعمل های عملیاتی، روش های تعمیر و نگهداری، مصاحبه با کارکنان، متخصصان و ... بدست آورد [2].
- شناسایی رویداد اصلی و رویدادهای فرعی: شناخت صحیح رویداد اصلی در جهت موفقیت آمیز بودن درخت خطا دارای اهمیت بسیار است. پس از شناخت رویداد اصلی، باید مراحل که رویداد اصلی را نتیجه می دهند به طور کامل شناسایی گردند و تحلیل بیشتر منجر به شناسایی جزئیات بیشتر از علل وقوع رویدادها می گردد تا جایی که دیگر علت ها قابل تقسیم نباشند [12]. اما مسئله بسیار مهم در صنایع فرایندی که هدف و فلسفه وجودی آن ها تلفی می شود، تداوم تولید است. بنابراین باید تلاش کرد تا حد امکان کارخانه متوقف نشود [14].

- رسم درخت خطا
- تعیین مجموعه برش ها و مجموعه برش های حداقل و نوشتن معادله جبری بولی رویداد رأس: پس از رسم درخت خطا و نام گذاری رویدادها، باید مجموعه برش ها و مجموعه برش های حداقل درخت خطا را تعیین نمود و معادله رویداد رأس را بر حسب برش های حداقل نوشت. برای بدست آوردن مجموعه برش های حداقل روش های مختلفی وجود دارد که سنتی ترین آن ها استفاده از جبر بولی است [15]. تمام مقدمات ذکر شده، برای رسیدن به مرحله ی نوشتن معادله جبری بولی رویداد رأس است. معمولا داده های موجود، داده های مربوط به نرخ نقص می باشد، بنابراین این داده ها را باید به داده های احتمال وقوع رویداد مورد نظر تبدیل نمود.
- محاسبه عدد ریسک و تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده: با محاسبه عدد ریسک مشخص می گردد که این عدد در محدوده ی ریسک قابل قبول یا غیر قابل قبول می باشد. در صورتیکه سطح ریسک بدست آمده، در محدوده ی قابل قبول برای ما باشد، اطلاعات اقدامات و نتایج بدست آمده را باید ثبت نمود. اما اگر سطح ریسک غیر قابل قبول باشد، پس از مشخص نمودن رویداد های فرعی، باید احتمال وقوع هر یک را تعیین و آن ها را به ترتیب اهمیت رتبه بندی نمود و برای رویدادهایی که رتبه ی بالاتری دارند و پرخطرتر می باشند، اقدامات پیشگیرانه ای را طرح ریزی کرد.

آنالیز مخاطرات به روش درخت خطا در مراحل مختلف از جمله مرحله طراحی فرایند اولیه و بهره برداری قابل استفاده است. اگر از این روش در آنالیز طراحی واحد استفاده شود، اطلاعات خوبی درباره احتمال رخداد حادثه به طراحان خواهد داد. در خصوص واحدهای در حال بهره برداری نیز، انجام این تحلیل منجر به یافتن نقاط ضعف واحد و نیز امکان سنجی بهبود فرایند خواهد شد [2]. روش درخت خطا به ویژه در سیستم های پیچیده و دقیق کاربرد دارد [13].

روش درخت خطا مقبولیت عام یافته و در ارزیابی صنایع، بسیار رایج می باشد. این روش می تواند بر روی یک عیب، تمرکز یابد بدون آنکه نمای کلی خطر را از بین ببرد. این روش چشم اندازی را ایجاد می کند که نشان می دهد معایب چگونه می توانند منجر به عواقب جدی تر و خطرناک تر شوند. این روش، روشی کمی - کیفی است و امکان برآوردهای احتمالی یک عیب یا حادثه را فراهم می آورد [2]. این آنالیز دارای محدودیت هایی نیز می باشد از جمله فرض مستقل بودن تمام رویدادها، عدم امکان استفاده برای سیستم های بزرگ و بسیار پیچیده، نیاز به اطلاعات جامع و تخصصی و مدارک مشروح و مستند. اگرچه داده های بسیاری از طریق بانک های اطلاعاتی، نظرات متخصصین و منابع دیگر در دسترس می باشند اما تعیین احتمال دقیق شکست ها به ویژه خطاهای انسانی بسیار مشکل است. با وجود این محدودیت ها این روش همچنان به عنوان یکی از قوی ترین تکنیک های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل ایمنی و قابلیت اعتماد سیستم ها در نظر گرفته می شود [16].

2-5- آنالیز درخت رویداد



یکی از مهم‌ترین مراحل ارزیابی ریسک صنایع فرآیندی، مدل‌سازی پیامدهای ناشی از حوادث محتمل می‌باشد [17]. آنالیز درخت رویداد روشی است که بر پیامدهای ناشی از حوادث تمرکز دارد. درخت رویداد روشی منطقی برای ارزیابی مخاطرات در واحد است که از یک رویداد اولیه آغاز می‌شود و تا رسیدن به پیامدهای ناشی از آن ادامه می‌یابد. رویداد اولیه می‌تواند رویداد اصلی درخت خطا باشد، به همین دلیل این روش به عنوان روشی تکمیلی برای آنالیز درخت خطا معرفی می‌شود. هر رویداد در این آنالیز فقط می‌تواند امکان وقوع یا عدم وقوع داشته باشد. همانند درخت خطا، درخت رویداد نیز از دسته روش‌های کیفی است که می‌توان با داشتن داده‌های ایمنی نتایج آن را کمی نمود. این روش برای اولین بار توسط موسسه انرژی اتمی انگلستان برای ارزیابی راکتورهای هسته‌ای ابداع شد. از درخت رویداد در صنایع هسته‌ای و شیمیایی استفاده می‌گردد. درخت رویداد دو جنبه متفاوت کاربردی دارد؛ یکی ارزیابی عوامل ایمنی در واحد و دیگری بررسی و ارزیابی نتایج وقوع رویداد اولیه در واحد [2].

مراحل تحلیل به روش درخت رویداد عبارت است از [18]:

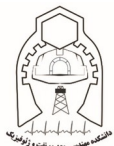
- شناسایی و تعیین رویداد اولیه که ممکن است منجر به پیامدهای ناخواسته گردد.
- شناسایی عواملی که منجر به توقف یا کاهش پیامدهای ناخواسته می‌شوند.
- رسم درخت رویداد
- شرح توالی حوادث بالقوه
- تعیین تکرار رویداد اولیه و احتمالات شرطی مربوط به شاخه‌های درخت رویداد
- محاسبه احتمالات یا تکرارها برای پیامدهای شناسایی شده
- ارائه نتایج آنالیز

آنالیز درخت رویداد قادر است زنجیره حوادث ناشی از رویداد اولیه و همچنین عواملی را که منجر به توقف یا کاهش پیامدهای ناخواسته می‌گردند، تصویرسازی نماید. این روش مبنای مناسبی برای ارزیابی‌ها و توابع ایمنی جدید یا توسعه یافته می‌باشد. از سویی دیگر عدم وجود استاندارد برای ارائه تصویری درخت رویداد، بررسی تنها یک رویداد اولیه در هر آنالیز و صرف نظر کردن از وابستگی رویدادها می‌تواند از نقاط ضعف این روش باشد [18]. همان‌طور که در مطالب بالا ذکر گردید، رویداد اولیه در درخت رویداد معمولاً همان رویداد اصلی در درخت خطا می‌باشد. این وابستگی موجب ضعف درخت رویداد شده است. این ضعف زمانی بارزتر می‌گردد که شناسایی رویداد اصلی درخت خطا نیز به یک آنالیز استنتاجی مانند آنالیز مخاطرات و راهبردی نیازمند باشد [2].

6-2- روش پایبونی

روش پایبونی یک روش مفید در حوزه مدیریت ریسک می‌باشد که ایده اولیه آن در استرالیا در سال 1979 ارائه شده است. این روش ارتباط میان خطرات و پیامدهای ناشی از بروز آن‌ها را به واسطه موانع مورد نیاز، به منظور جلوگیری از بروز حوادث و پیامدهای زنجیره‌ای ناشی از آن‌ها برقرار می‌نماید و نحوه کنترل آن‌ها را در سیستم مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست به خوبی نشان می‌دهد [19]. توسعه و استفاده مناسب طرح‌های موانع پایبونی، پتانسیل افزایش قابل توجهی در ایمنی فرآیند را دارا می‌باشد. طرح‌ها این کار را با تمرکز بر جنبه‌های بهره‌برداری، تاکید واضح بر تمام موانع ایمنی مهم، کمک در ارزیابی موانع مناسب، برقراری ارتباط با تمام کارکنان و پیمانکاران و فراهم نمودن شرایطی برای اطلاع‌رسانی پیوسته‌ی تاثیر این موانع انجام می‌دهند. همچنین روش پایبونی در مرحله طراحی به منظور آزمودن کفایت و ارتباط موانع و بررسی نیاز به موانع و کنترل‌های اضافی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد [9]. گاهی اوقات روش پایبونی به صورت ترکیبی از دو ابزار آنالیز ریسک موجود شامل آنالیز درخت خطا و آنالیز درخت رویداد توصیف می‌گردد. چرخش در جهت ساعت درخت خطا (از آنجاییکه درخت خطا اغلب به صورت عمودی کشیده می‌شود) و اتصال آن به درخت رویداد (که اغلب به صورت افقی کشیده می‌شود)، یک پایبونی ایجاد می‌کند که در رویداد اصلی به یکدیگر متصل شده‌اند، اما تفاوت‌های بسیاری میان این آنالیزها وجود دارد. آنالیزهای درخت خطا و درخت رویداد قابلیت کمی شدن دارند، در حالیکه روش پایبونی کیفی می‌باشد و بر ارائه‌ی ساده تصویری از خطر، تهدیدها، رویدادهای اصلی، موانع، عوامل تنزل، کنترل‌ها و پیامدها تمرکز دارد [9].

آنالیز درخت خطا یک رویداد اصلی را در قالب ترکیبی از شکست‌هایی که می‌توانند منجر به رویداد اصلی گردند، توصیف می‌نماید که این شکست‌ها با عملگرهای "و" یا "یا" به یکدیگر مرتبط می‌باشند، در حالیکه آنالیز پایبونی از منطق بولی میان موانع استفاده نمی‌کند. یک مانع پایبونی، در درخت خطا به عنوان "تقاضا برای مانع" و "شکست‌های مانع" ارائه می‌گردد، بنابراین روش پایبونی می‌تواند شامل منطق بولی باشد اما اغلب به صورت پنهان است زیرا برای کاربر ضروری نمی‌باشد. تهدیدهای مختلف در روش‌های پایبونی در قالب عملگرهای "یا" می‌باشند که به رویداد اصلی هدایت می‌شوند (به عبارت دیگر، رویداد اصلی ممکن است به واسطه تهدید 1 یا 2 تهدید 2 یا تهدید 3 و ... ایجاد شده باشد). بعضی از مجموعه قوانین درخت خطا برای روش پایبونی نیز مورد استفاده است که شامل نیازمندی‌ها و استقلال‌ها می‌باشد [9].



آنالیز درخت رویداد به شناسایی توابع یا موانع ایمنی نیاز دارد. همچنین این آنالیز، عوامل پیش برنده خطر را که از روش پایبونی بیرون نگه داشته شده است، در نظر می گیرد؛ مانند جهت باد، احتراق زود هنگام یا دیر هنگام و آنالیز درخت رویداد دارای شاخه هایی تحت عنوان "شکست های موانع" و "موفقیت های موانع"، به عنوان دو نتیجه متمایز می باشد. در آنالیز درخت رویداد، موفقیت مانع باعث خاتمه ی رویداد می گردد که در نتیجه، آن شاخه کنار گذاشته می شود یا شاخه ی نتیجه ی متفاوتی را تعیین می نماید؛ برای مثال احتراق آبی یا احتراق با تاخیر (انفجار). روش پایبونی شاخه هایی را که خاتمه می یابند، نمایش نمی دهد و تنها شاخه هایی را که تا وقوع پیامد ادامه می یابند، نشان می دهد[9].

از آنجاییکه ممکن است آنالیز درخت خطا و آنالیز درخت رویداد به صورت کمی باشند و روش پایبونی آن ها را به صورت تصویری نمایش می دهد، این امکان وجود دارد که محققان در آینده قادر به توسعه آنالیز پایبونی برای کاربردهای کمی باشند. برخی ابزارها در نرم افزار روش پایبونی این امکان را می دهند که آنالیز لایه های حفاظتی کمی با استفاده از روش پایبونی به عنوان نقطه اولیه انجام گیرد[9].

2-7- ارزیابی مقدماتی خطر

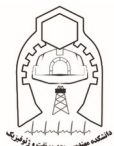
آنالیز مقدماتی خطر یک ارزیابی اولیه می باشد که می تواند برای شناسایی، توصیف و رتبه بندی خطرات اصلی در مرحله مفهومی از طراحی مورد استفاده قرار گیرد[20]. این تکنیک برای اولین بار در اوایل دهه 50 میلادی در ایالات متحده آمریکا برای آنالیز ایمنی موشک های با پیش برنده مایع بکار گرفته شد. پس از این کاربرد موفقیت آمیز، استفاده از این تکنیک در صنایع مختلف از جمله صنایع شیمیایی و هسته ای گسترش یافت. با انجام این مطالعه لیستی از خطرات غیر قابل چشم پوشی و یک ارزیابی از ریسک های باقیمانده پس از اعمال اقدامات پیشگیرانه فراهم می شود[21]. این فهرست شامل ارزیابی کیفی از ریسک می باشد که اغلب به صورت لیست جدول بندی شده از اقدامات پیشگیرانه با تعریف کیفی میزان اثر بخشی قابل پیش بینی ارائه می گردد. در بعضی از منابع ممکن است اجرای مطالعه لیست مقدماتی خطر¹ مقدم بر آنالیز مقدماتی خطر شمرده شود. لیست مقدماتی خطر یک روش مقدماتی شناسایی خطرات موجود مرتبط با طراحی سیستم است که با استفاده از ابزارهایی نظیر چک لیست ها، ماتریس خطر، تشریح تجهیزات، گزارش حوادث، بررسی سوابق مشاغل مشابه، مرور گزارشات گذشته و مواردی نظیر آن به شناسایی خطرات اقدام می کند که لیست مقدماتی خطر شناسایی می توان برای تشکیل پایه و اساسی برای اجرای آنالیز مقدماتی خطر مورد استفاده قرار داد[22].

ساده ترین دستورالعمل انجام آنالیز مقدماتی خطر شامل مراحل ذیل می باشد[22]:

- 1- شناسایی منابع با ارزش برای محافظت
 - 2- تعریف سطوح ریسک قابل قبول و گستره مورد ارزیابی
 - 3- شناسایی و تأیید خطرات سیستم
 - 4- ارزیابی احتمال و شدت بدترین مورد قابل درک برای هر خطر و هدف
 - 5- ارزیابی ریسک خطرات شناسایی شده با استفاده از ماتریس ارزیابی ریسک
 - 6- طبقه بندی ریسک های شناسایی شده
 - 7- بکار گیری اقدامات کنترلی
 - 8- ارزیابی مجدد ریسک پس از اجرای اقدامات پیشگیرانه
 - 9- تعیین اینکه آیا اقدامات پیشگیرانه خطرات جدیدی را ایجاد می کند یا خیر.
- این مطالعه معمولاً اولین تلاش جدی برای تعیین خطرات یک سیستم جدید و در بعضی موارد سیستم های تغییر یافته است که می تواند به عنوان مینا برای کنترل خطرات تلقی گردد[21].
- این روش می تواند خطرات بالقوه و رویدادهای اتفاقی را که ممکن است منجر به بروز حادثه شوند، شناسایی کرده و آن ها را بر حسب ریسک رتبه بندی نماید. همچنین توانایی تعیین اقدامات اصلاحی برای حذف عناصر و شرایط خطرناک یا به حداقل رساندن اثرات آن ها را دارد. داده های بدست آمده از آنالیز مقدماتی خطر یک ورودی مفید و موثر برای سایر فعالیت های ایمنی در راستای شناسایی مناطق بالقوه مشکل آفرین مرتبط با بخش های سخت افزاری، نرم افزاری یا فصل مشترک آن ها، شناسایی الزامات دستورالعملی یا طراحی ایمنی، الویت بندی فعالیت های ایمنی و تعیین موارد نیازمند به تست و آنالیزهای بیشتر می باشد. از سوی دیگر این آنالیز برای ارزیابی ایمنی سیستم های پیچیده به تنهایی کاربرد چندانی ندارد و با اجرای آن نمی توان اطمینان حاصل نمود که تمام خطرات کشف شده اند[22].

2-8- آنالیز لایه های حفاظتی

¹ Preliminary Hazard List (PHL)



آنالیز لایه های حفاظتی یک روش نیمه کمی ارزیابی ریسک می باشد که برای آنالیز میزان موثر بودن لایه های حفاظتی مستقل² موجود در فرآیند در برابر خطرات شناسایی شده، مورد استفاده قرار می گیرد[23] و در صورت موثر نبودن این لایه های حفاظتی مستقل، لایه های حفاظتی مستقل جدید و میزان قابلیت اطمینان مورد نیاز آن را مشخص می کند. لایه های حفاظتی گروهی از تجهیزات و یا کنترل های اداری می باشند که در صورت بروز شرایط غیر عادی در فرآیند که می توانند منجر به آشفته گی در فرآیند و بروز حادثه شوند، اقدامات مشخصی را انجام دهند. گروهی از لایه های حفاظتی که دارای خصوصیات ذیل می باشند، به عنوان لایه های حفاظتی مستقل شناخته می شوند[24]:

- قابلیت دسترسی: در صورت آشفته گی در فرآیند در دسترس باشد.
- خاص بودن: برای جلوگیری و یا کاهش یک پیامد نامطلوب مشخص طراحی شده باشد.
- استقلال عملکرد: رخداد رویداد اولیه و عملکرد لایه های حفاظتی دیگر در کارکرد آن تاثیر نداشته باشد.
- قابلیت اطمینان: کاری را که برای آن طراحی شده است، به درستی انجام دهد.
- قابلیت بازرسی: لایه های حفاظتی می بایست در دوره های مختلف مورد بازرسی قرار گیرند. گاهی اوقات طراحی اولیه فرآیند به گونه ای است که نمی تواند جلوی پیشرفت سناریوی حادثه را بگیرد. در این حالت، خطر از اولین لایه حفاظتی عبور کرده و می بایست برای جلوگیری از ایجاد حادثه و یا کاهش اثرات آن، توسط لایه های حفاظتی دیگر کنترل شود. لایه ی حفاظتی مستقل بعدی، تجهیزات و کنترل هایی هستند که همواره فرآیند را مورد پایش و کنترل قرار می دهند. حلقه های کنترل که در گروه سیستم های پایه کنترل فرآیند قرار دارند و شامل مواردی نظیر هشدارها، نظارت های اپراتور بر فرآیند و دستورالعمل های عملیاتی می باشند، نمونه ای از این لایه ها می باشد. در صورتیکه با وجود این لایه های حفاظتی مستقل، خطر همچنان وجود داشته باشد، می بایست از لایه هایی استفاده نمود که جلوی پیشرفت سناریوی حادثه را بگیرد. این لایه ها شامل هشدارهای حیاتی، سیستم های ابزار دقیق ایمنی و سیستم های حفاظتی مکانیکی می باشند. در صورتیکه این لایه ها نیز قادر به جلوگیری از گسترش اثرات ناشی از رویداد اولیه نباشند، باید از لایه های دیگری که می توانند این اثرات را کاهش دهند استفاده شود؛ شیرهای اطمینان از این گروه می باشند. اگر این لایه ها نیز توانایی جلوگیری از رخداد حادثه را نداشته باشند و یا نتوانند اثرات آن را تا حد مشخصی کاهش دهند، کنترل ریسک وارد مرحله ی واکنش اضطراری کارخانه می شود. بدیهی است کاربرد تمام لایه های حفاظتی شناسایی شده برای سناریوهای حادثه، از لحاظ منطقی، اقتصادی و ایمنی غیر قابل قبول می باشد، بنابراین روش آنالیز لایه های حفاظتی معرفی شده است تا خطر بر اساس شدت و احتمال وقوع آن و به طور سیستماتیک کنترل شود[25].
- اطلاعات مورد نیاز برای اجرای آنالیز لایه های حفاظتی از خروجی های روش مخاطرات و راهبردی بدست می آید[26]. آنالیز لایه های حفاظتی یک راه حل اقتصادی است تا بتوان سطح ریسک موجود را تا حد قابل قبول کاهش داده و در نهایت ریسک باقیمانده را نیز پذیرفت. همچنین این نکته را باید در نظر گرفت که ریسک هایی که به عنوان ریسک باقیمانده شناخته می شوند، می بایست همواره مورد پایش قرار گرفته تا از قابل تحمل بودن آن ها در دوره های مختلف اطمینان حاصل گردد.

9-2- روش تریپود بتا

روش ارزیابی ریسک تریپود بتا بر اساس تجزیه و تحلیل مبتنی بر سه رکن خطر، هدف و رویداد می باشد[27]. این روش بر مبنای این فرضیه استوار است که همیشه هر حادثه، توالی یک سری رویداد است که چندین علت دارد. نقص های سطحی نظیر اعمال نایمن، جداگانه اتفاق نمی افتند بلکه متاثر از یک سری عوامل خارجی (پیش شرایط) هستند که این عوامل خودشان از یک سری نقص های نهان نشأت می گیرند. نقص های نهان اغلب از تصمیمات یا اعمالی ناشی می شود که توسط طراحان، برنامه ریزان یا مدیران صورت می گیرد. در این روش، کلیه نقص های نهان به 11 نوع خطا تقسیم بندی می شود، که هر دسته از آن ها سطح متمایزی از فعالیت های مدیریت را نشان می دهد[28]. تکنیک تریپود بتا در اغلب شرکت های نفتی و موسسات معتبر بین المللی استفاده می گردد[29].

روش انجام تجزیه و تحلیل حوادث به روش تریپود بتا به شرح ذیل می باشد[27]:

- رسم درختواره و تعیین خطر، هدف و رویداد
 - مشخص نمودن سیستم های حفاظتی (کنترلی و دفاعی)
 - تعیین اشکالات سطحی (اعمال یا شرایط نایمن)
 - استفاده از چک لیست به منظور تعیین پیش شرایط و اشکالات پنهان
 - مدیریت بر روی اشکالات پنهان
- تکنیک تریپود بتا قادر است مسیرهای علت بروز یک حادثه بر هر رویداد را به خوبی نشان دهد. در این روش، پیش شرایط، علل پنهان و علل بی واسطه به خوبی مشخص می گردند. این روش بیشتر به منظور

² Independent Protection Layers (IPL)



ارزیابی عملکرد عوامل و خطاهای سازمانی، مدیریتی و پیرو آن خطاهای انسانی و فنی به کار برده می شود، بطوریکه علل اینگونه خطاها، ریشه یابی شده و با تمرکز بر انواع این خطاها کلیه نقص های نهان مربوط به یک حادثه شناسایی می گردند. از طرفی در صورتیکه زمان و منابع کافی برای تحلیل حوادث در اختیار باشد، آنالیزی مانند درخت خطا در تعیین نقص های تجهیزاتی سیستم دارای عملکرد بهتری نسبت به روش تریپود بتا می باشد [28].

3- نتیجه گیری و جمع بندی

توسعه کارخانه ها و افزایش سرعت تولید، موجب پدید آمدن مشکلات ایمنی و به تبع آن ها خسارت های مالی و سوانح جانی گردید، از این رو صاحبان صنایع درصدد حذف این ضایعات برآمدند. افزایش روزافزون صنایع شیمیایی در ایران، استفاده از روش های ایمنی را به عنوان پارامتر مهمی در تولید محصولات با کیفیت بیشتر و با هزینه های نهایی کمتر ضروری می سازد. بنابراین توجه به روش های ایمنی در صنایع شیمیایی بسیار حائز اهمیت می باشد. در این تحقیق روش های مهم ارزیابی ریسک در فرایندهای شیمیایی تشریح شده است. روش های مهم ارزیابی ریسک در فرایندهای شیمیایی عبارتند از: روش چک لیست، روش پرسش، آنالیز مخاطرات و راهبردی، آنالیز درخت خطا، آنالیز درخت رویداد، روش پاپیونی، ارزیابی مقدماتی خطر، آنالیز لایه های حفاظتی و روش تریپود بتا. تمام این تکنیک ها به دنبال این هدف هستند که اطمینان حاصل شود سیستم یا فرایند، تحت شرایط ریسک قابل قبول طراحی شده و عمل می کند. در این تحقیق روش های مذکور مورد بحث و بررسی قرار گرفته و نحوه اجرا، کاربرد، مزایا و معایب برای هر روش بیان شده است. بررسی منابع نشان می دهد که آنالیز مخاطرات و راهبردی و آنالیز درخت خطا مطمئن ترین روش های ارزیابی ریسک در فرایندهای شیمیایی می باشند.

مراجع

- [1]- عدل، جواد، پاییز 1380. "متدولوژی ایفای نقش ایمنی در کاهش هزینه ها: مطالعه موردی در عملیات تخلیه کلر"، علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره 10، صفحه 57 الی 70.
- [2]- دهقانی، محمدرضا، اسلامی، حسن و عبیری، فردین، 1391. "معرفی و مقایسه روش های کیفی ارزیابی و شناسایی مخاطرات"، نشریه مهندسی شیمی ایران، شماره 63، صفحه 13 الی 20.
- [3]- خاتمی فیروزآبادی، سیدعلی و خرم روز، علی، 1387. "تعیین نقاط حساس نشستی در ایستگاه های تقویت فشار گاز با استفاده از تحلیل درخت خطا (FTA)"، فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، شماره 12، صفحه 45 الی 71.
- [4]. Mannan, S. and Lees, FP., 2005. Lee's loss prevention in the process industries: hazard identification, assessment, and control. Third Edition, Elsevier.
- [5]- زینالی، نسیم، 1388. ارزیابی ریسک حوادث زنجیره ای محتمل بین دو مجتمع پتروشیمی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، صفحه 126 الی 128.
- [6]. American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety, 2007. Guidelines For Risk Based Process Safety. WILEY.
- [7]. Royal Society, 1992. Risk Analysis, Perception and Management. London, UK: The Royal Society.
- [8]. Bris, R., Medonos, S., Wilkins, Ch. and Zdráhal, A., 2014. "Time-dependent risk modeling of accidental events and responses in process industries". Reliability engineering and system safety, 125, pp. 54-66.
- [9]. American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety, 2018. Bow ties in risk management: a concept book for process safety. A Joint Publication of the American Institute of Chemical Engineers and John Wiley & Sons, Inc.
- [10]- خداپرست، اسماعیل، مهدی نیا، محسن و حاجی زاده، روح الله، پاییز 1394. "ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم خنک کننده روغن توربین در ایستگاه تقویت فشار گاز با استفاده از آنالیز درخت خطا"، فصلنامه علوم و فنون ایمنی ایران، سال دوم شماره 3، صفحه 48 الی 62.
- [11]- محمدفام، ایرج، تابستان 1386. ارزیابی و مدیریت ریسک
- [12]- دده خانی، بابک، "آنالیز حوادث به روش درخت خطا"، safety message، سال نهم شماره 34، صفحه 24 الی 26.
- [13]- اصیلان، حسن، ولدخانی، امیر، مرتضوی، سیدباقر، سالم، محمد و خوانین، علی، زمستان 1385. "ارزیابی عوامل موثر بر انفجار ناشی از سوخت گاز دیگ های بخار لوله آتشی"، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی قزوین، سال دهم شماره 4، صفحه 58 الی 63.
- [14]- سخاوتی، علی، نوروزی، حمیدرضا و شجاعی، امیرعباس، دی ماه 1391. "کاربرد تحلیل درخت خطا در یک واحد تقویت فشار گاز"، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره 97، صفحه 66 الی 70.



- [15]. جوزی، سیدعلی، عصمت ساعتلو، سید جعفر و جوان، زیبا، پاییز 1393. "ارزیابی ریسک زیست محیطی در واحد الفین مجتمع پتروشیمی آریاساسول به روش تجزیه و تحلیل درخت خطا"، مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره هفتم شماره 3، صفحه 385 الی 398.
- [16]. طاهریون، مسعود، بهرامی، مرضیه و مرادی نژاد، صابر، پاییز 1393. "ارزیابی اطمینان پذیری تصفیه خانه فاضلاب شهری با استفاده از آنالیز درخت خطا"، تحقیقات منابع آب ایران، سال دهم شماره 2، صفحه 1 الی 11.
- [17]. جعفری، محمدجواد، زارعی، اسماعیل و دورمحمدی، علی، بهار 1392. "ارائه روشی برای مدلسازی پیامد و ارزیابی کمی ریسک حریق و انفجار در صنایع فرایندی (مطالعه موردی: فرایند تولید هیدروژن)"، فصلنامه بهداشت و ایمنی کار، جلد سوم شماره 1، صفحه 55 الی 82.
- [18]. Rausand, M. and Hoyland, A., 2004. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications (Chapter 3). Second Edition, WILEY.
- [19]. صامتی، محمود، 1390. "نقش مدل پایبونی Bow-tie Method در بهبود و بهینه سازی فرایند مدیریت ریسک"، هفتمین همایش سراسری بهداشت حرفه ای، قزوین، دانشگاه علوم پزشکی قزوین.
- [20]. Aloqaily, A., 2018. Cross-Country Pipeline Risk Assessments and Mitigation Strategies (Chapter 2 – Identification of Hazards Associated With Pipelines). Elsevier.
- [21]. کاکائی، حجت الله، جعفری ندوشن، رضا، کمالوندی، مائده، آزاد، پروین، نورمحمدی، پروین و کاکائی، زهرا، پاییز 1394. "شناسایی و رده بندی خطرات و رویدادهای بالقوه به روش آنالیز مقدماتی خطر (PHA) در پالایشگاه نفت کرمانشاه"، مجله مهندسی بهداشت محیط، سال سوم شماره 1، صفحه 1 الی 9.
- [22]. محمدفام، ایرج، 1384. تکنیک های آنالیز ایمنی: آنالیز مقدماتی خطر، انتشارات فن آوران.
- [23]. Center for Chemical Process Safety (CCPS). 2001. Layer of protection analysis, simplified process risk assessment. American Institute of Chemical Engineers, New York.
- [24]. Dowell, AM., 1997. "Layer of protection analysis, A new PHA tool, after HAZOP, before fault tree analysis". International Conference and Workshop on Risk Analysis in Process Safety, Atlanta.
- [25]. خندان، محمد، کوهپایی، علیرضا، جباری، موسی و وثوقی، شهرام، پاییز 1394. "ارزیابی ریسک فرایندهای شیمیایی با استفاده از روش LOPA: مطالعه موردی در یک مخزن واحد پتروشیمی"، فصلنامه علوم و فنون ایمنی ایران، سال دوم شماره 3، صفحه 63 الی 77.
- [26]. Baybutt, P., 2006. "An improved risk graph approach for determination of safety integrity levels (SILs)". Process Safety Progress, 26 (1), pp. 66-76.
- [27]. گیوه چی، سعید، امجدیان، مهدی و قاسمی، عطااله، "تجزیه و تحلیل حوادث منجر به آتش سوزی به روش TRIPOD BETA، مطالعه موردی پالایشگاه پنجم شرکت مجتمع گاز پارس جنوبی"، دومین همایش تولید گاز پایدار.
- [28]. لعلی دستجردی، عفت و محمدفام، ایرج، بهار 1391. "مقایسه دو روش درخت خطا و تریپود بتا با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در تحلیل حوادث در یک صنعت فولادسازی"، مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی، دوره 10 شماره 1، صفحه 43 الی 52.
- [29]. میراج، فرشته، فاطمی، مریم السادات، معتمد فتح، مجید و والی نژاد، محمود، 1384. "تجزیه و تحلیل ریشه ای حوادث به روش Tripod-Beta"، اولین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.



National Conference of Risk and Resilience Management in Mining Industries

June 2019 23-24



Risk assessment in chemical processes

Saba Tahami¹ and Abbas Rashidi^{2*}

1- MSc in Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Mazandaran, Babolsar, Iran, tahami_saba@yahoo.com

2- Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Mazandaran, Babolsar, Iran, rashidi@umz.ac.ir

*** Corresponding Author**

Abstract

Process industries often deal with high-risk chemicals and operating units under high temperature and high pressure conditions. Therefore, the probability of accidents is very high in these industries. In the chemical industries, because of their wide operation, the great number of personnel, the presence of a significant amount of various hydrocarbon and chemical substances that are in acute conditions, there is the potential for the occurrence of huge accidents. In order to prevent damage and discover the hazards that result in accidents, as well as to analyze the risks of industrial units, special plans and systematic methods are needed to reduce the accidents by identifying major factors. Risk assessment is a widely used method for the management of the effective tools in the safety of process units in order to reduce the risks of various accidents. Important methods of risk assessment in chemical processes include checklist method, what if technique, hazard and operability analysis, fault tree analysis, event tree analysis, bow-tie method, preliminary hazard assessment, layer of protection analysis, and tripod beta method. In this research, all these methods have been discussed and implementations, applications, advantages and disadvantages of each method are described. The obtained results show that the hazard and operability analysis and the fault tree analysis are the most reliable risk assessment methods in chemical processes.

Keywords

Accidents
Risk assessment
HAZOP
FTA
Chemical processes