

معرفی و مقایسه روش‌های کیفی ارزیابی و شناسایی مخاطرات

محمد رضا دهقانی^{*}، حسن اسلامی، فردین عبیری

تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی شیمی

پیام نگار: m_dehghani@iust.ac.ir

چکیده

در این مقاله مهمترین روش‌های کیفی ارزیابی مخاطرات از منظر ساختاری و کاربردی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته‌اند. روش‌هایی نظیر چکلیست، پرسش، آنالیز بالقوه خرابی، آنالیز مخاطرات و راهبردی، آنالیز درخت خطا و آنالیز درخت رویداد از جمله روش‌هایی هستند که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در بخش اول، شرح اجمالی روش‌های مختلف ارائه گردیده و در ادامه، حوزه‌های کاربردی هر کدام مشخص شده است. در انتها نیز روش‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج مطالعات نشان می‌دهند که جهت ارزیابی کامل مخاطرات در یک واحد فرایندی، روش‌های استنتاجی و قیاسی بایستی به‌طور همزمان مورد استفاده قرار گیرند. انتخاب ترکیب مناسبی از این روش‌ها به شرایط مختلفی از جمله بودجه مد نظر کارفرما، محدودیت زمانی، نوع فرایند، تجهیزات و عوامل دیگری بستگی دارد. از دیدگاه اقتصادی استفاده همزمان از روش چکلیست و درخت خطا با صرفه‌ترین روش است. در حالی که استفاده همزمان از آنالیز مخاطرات و راهبردی به همراه درخت خطا و درخت رویداد پرهزینه‌ترین و البته مطمئن‌ترین روش محسوب می‌شود.

کلمات کلیدی: ارزیابی ریسک، چکلیست، پرسش، آنالیز بالقوه خرابی، آنالیز مخاطرات و راهبردی، آنالیز درخت خطا، آنالیز درخت رویداد

۱- مقدمه

۸۰ و ۹۰ این حوادث با رویدادهایی چون بوپال^۱ در هندوستان، فلیکسبرو^۲ در انگلستان، توکویاما^۳ در ژاپن و چرنوبیل^۴ در اوکراین و صدها حادثه کوچک و بزرگ دیگر در سراسر دنیا به اوج خود رسید و باعث اقدامات جدی صنایع و ایمن‌سازی هرچه بیشتر کارخانه‌ها شد. پیدایش بیشتر روش‌های کیفی و کمی ریسک به این دوره بازمی‌گردد. این حوادث باعث شدند تا از سویی این صنایع شیمیایی به‌عنوان یکی از خطرناک‌ترین صنایع برای دولت‌ها مطرح شوند و از سوی دیگر صاحبان صنایع بیش از پیش به دنبال یافتن راهکارهایی برای مقابله با مخاطرات باشند. همین امر نقطه آغازی برای پدید آمدن روش‌های ارزیابی ریسک به جهت مقابله با مخاطرات شد و

نیاز به تولید اقلام مختلف کالا از یک سو و گسترش صنایع از سوی دیگر باعث گسترش روزافزون صنایع در قرن بیستم گردید؛ توسعه کارخانه‌ها و تولید با این سرعت، موجب پدید آمدن مشکلات ایمنی و به تبع آن‌ها خسارت‌های مالی و سوانح جانی گردید، از این رو صاحبان صنایع درصدد حذف این ضایعات برآمدند. این کار با تشکیل گروه‌های تحقیق و ایمنی در شرکت‌های بزرگ صورت پذیرفت. با شروع کار این بخش در صنایع، کم‌کم راهکارهای جدید برای اجتناب از مخاطرات ابداع شدند؛ این روش‌ها که غالباً اساس تجربی داشتند تا مدت‌ها به صورت جدی از سوی صنایع به اجرا در نمی‌آمدند. با آغاز دهه ۷۰ و همزمان با رشد صنایع شیمیایی در کنار دیگر صنایع، حوادث دلخراشی در سراسر دنیا رخ داد، در دهه

1. Bhopal
2. Felixborough
3. Tokoyama
4. Chernobyl

است. برای اینکه چکلیست ایجاد شده بتواند بیشترین سطح مخاطرات را ارزیابی کند، باید در بخش‌های مختلف فرایند به‌طور مجزا اجرا شود و هر چه میزان تجربه طراحان چکلیست بیشتر باشد، جنبه‌های بیشتری از مخاطرات بررسی می‌شود. سطح طراحی چکلیست هم با توجه به شرایط فرایندی و اینکه در چه سطحی از طراحی واحد باشیم (و یا اینکه فقط آنالیز را برای بررسی ایمنی واحد طراحی شده انجام می‌دهیم)، متفاوت است. مزایا و معایب چکلیست به شرح زیر است:

روش چکلیست به دلیل سادگی و کم هزینه بودن آن از مقبولیت بالایی برخوردار است و در بسیاری از موارد این روش بر سایر روش‌ها ترجیح داده می‌شود به‌طور مثال در خصوص یک خط لوله این روش بر سایر روش‌ها ترجیح دارد. در کنار مزایای این روش معایبی نیز وارد است. در ادامه برخی از مزایا و معایب روش چکلیست به‌طور خلاصه ارائه گردیده است:

- سریع و آسان بودن روش
- جلوگیری از تکرار حوادثی که در گذشته رخ داده در صورت استفاده از اطلاعات افراد با تجربه
- فهم ساده چکلیست و استفاده آسان توسط اپراتورها
- مطابقت سریع و آسان با استانداردهای طراحی
- اطمینان از اینکه همه نقاط پر خطر واحد به خوبی بررسی شده‌اند.
- معایب عمده این روش عبارتند از:
 - این روش راهکاری برای یافتن نقاط جدید خطر به کاربر ارائه نمی‌کند.
 - این روش سناریویی برای ارزیابی‌های کمی به‌دست نمی‌دهد.
 - با توجه به تغییراتی که در طول زمان در واحدهای فرایندی رخ می‌دهد، از یک چکلیست ثابت نمی‌توان به‌عنوان مرجع استفاده کرد.
 - احتمال کمی وجود دارد که تمام مراکز خطر در واحد با این روش شناسایی شده باشند.
 - برای نوشتن چکلیست باید از افراد بسیار با تجربه استفاده کرد که معمولا پیدا کردن این افراد مشکل است.

۲-۲ آنالیز بالقوه خرابی

آنالیز بالقوه خرابی روشی است که علل وقوع خرابی در هر تجهیزات

حتی پس از آن مهندسان و دانشمندان در پی یافتن راه‌هایی برای طراحی ذاتا ایمن در صنایع برآمدند.

با توجه به اینکه کشور ما یکی از بزرگترین تولیدکنندگان نفت و گاز جهان می‌باشد و نیز پتانسیل تبدیل شدن به قطب پتروشیمی جهان را دارد در نتیجه افزایش روزافزون صنایع شیمیایی در آن استفاده از روش‌های ایمنی را به‌عنوان پارامتر مهمی در تولید محصولاتی با کیفیت بالاتر و نیز با هزینه‌های تمام شده کمتر ضروری می‌سازد.

همه موارد ذکر شده موجب اهمیت توجه به روش‌های ایمنی در صنایع شیمیایی می‌شوند. از این رو در این مقاله به بررسی و مقایسه ساختاری و کاربردی شش روش کیفی ارزیابی مخاطرات می‌پردازیم. این روش‌ها عبارتند از روش چکلیست^۱، پرسش^۲، آنالیز بالقوه خرابی^۳، آنالیز مخاطرات و راهبردی^۴، آنالیز درخت خطا^۵ و آنالیز درخت رویداد^۶ که ابتدا شرح اجمالی هر کدام ارائه می‌گردد و سپس حوزه‌های کاربردی هر کدام مشخص می‌شود و در آخر، همه آنها با هم مقایسه می‌شوند.

۲- روش‌های ارزیابی ریسک

۱-۲ چکلیست

به‌طور کلی آنالیز چکلیست همان‌طور که از اسم آن برمی‌آید، مجموعه سؤال‌های طراحی شده‌ای است که در فهم سریع و کامل فرایند به کاربران کمک می‌کند. در طراحی این لیست از استانداردها، حوادث قبلی و تجربه متخصصان اعم از طراح و اپراتور استفاده می‌شود. چکلیست از جمله مراحل اولیه در ارزیابی ریسک واحد می‌باشد ولی می‌توان از آن برای اجرای ارزیابی‌های کمی^۷ نیز استفاده کرد. چکلیست را می‌توان برای هر جزئی از فرایند مثل تجهیزات، دستورالعمل‌ها، مواد شیمیایی و خود فرایند اجرا کرد. چکلیست را می‌توان در هر مرحله از عمر فرایند، از زمان طراحی اولیه تا طول مدت بهره‌برداری به کار برد. این روش جزو مراحل اولیه بررسی مخاطرات هر واحد می‌باشد و برای روش‌های پیچیده‌تری مثل ارزیابی مخاطرات و راهبردی، الگوی اولیه مناسبی

1. Check-List
2. What-If
3. Failure Modes And Effects
4. Hazard And Operability
5. Fault Tree Analysis
6. Event Tree Analysis
7. Quantitative Risk Analysis

- ساده و قابل فهم است.
 - این آنالیز می‌تواند توسط یک نفر و البته متخصص این امر انجام شود و بنابراین، کم هزینه است.
 - با این روش می‌توان عضو بحرانی واحد را که در صورت خرابی آن، کار واحد متوقف می‌شود شناسایی کرد.
- (ب) معایب:
- این روش تجربی است و نتایج آن به شدت به تجربه مجری بستگی دارد.
 - از این آنالیز برای ارزیابی خطای انسانی و خطاهای ترکیبی نمی‌توان استفاده کرد.
 - نتایج این روش را نمی‌توان کمی کرد.
 - از این روش نمی‌توان در فرایندهای پیچیده و مخاطرات ناشی از فرایند استفاده نمود.

۲-۳ پرسش

آنالیز مخاطرات به روش پرسش، از جمله روش‌های کیفی و از شاخه استنتاجی است که با برگزاری جلسات گروهی انجام می‌شود. این روش مبتنی بر پرسش مجموعه سؤالاتی است که در حین جلسه و در پی طوفان فکری به ذهن افراد خطور می‌کند^۲. این سؤالات می‌توانند در زمینه فرایند، تجهیزات، پرسنل، عملیات و دستورالعمل‌های اضطراری^۳ مطرح شوند. عمدتاً برای آمادگی ذهنی افراد برای پرسش سؤال از چک‌لیست‌های مربوط به آن واحد استفاده می‌شود و لذا از این روش غالباً برای واحدهای در حال بهره‌برداری و یا واحدهای اصلاح شده^۴ استفاده می‌شود و در مرحله طراحی کاربردی ندارد.

در سال ۱۹۶۷ از روش پرسش به‌طور غیر رسمی برای اولین بار در ارزیابی مخاطرات استفاده شد و نهایتاً در سال ۱۹۹۲ مرکز ایمنی در صنایع شیمیایی^۵ ایالات متحده آمریکا از روش پرسش به‌طور رسمی در ارزیابی‌های خود استفاده کرد.

اساس کلی این روش بر این اصل استوار است که طی جلسه‌ای پرسش‌هایی گروهی از سوی حاضرین به‌منظور بررسی قابلیت اطمینان واحد مورد نظر مطرح می‌گردد و پیامدهای ناشی از

را بدون در نظر گرفتن محیط پیرامون آن بررسی، و اثر آن را بر سیستم به‌طور کلی تحلیل می‌کند که معمولاً نتایج آن در قالب یک جدول ارائه می‌شود. بررسی جزء به جزء سیستم‌ها توسط این روش، آن را به یکی از پرکاربردترین روش‌ها در صنایع مختلف از جمله صنایع الکترونیک، هوافضا، هسته‌ای، دفاعی، خودروسازی و فرایندی تبدیل کرده است.

در اواخر دهه ۵۰ میلادی همزمان با توسعه صنایع نظامی در ایالات متحده آمریکا، ارتش آمریکا برای بررسی دلایل خرابی جنگنده‌ها، موشک‌ها و سایر ادوات جنگی روشی ابداع کرد و آن را آنالیز بالقوه خرابی نامید.

این آنالیز از جمله روش‌های کیفی و از شاخه استنتاجی است که می‌تواند در دو قالب فردی و گروهی اجرا شود. از مزایای این روش این است که می‌توان جلوگیری از وقوع حوادث و افزایش احتمال شناسایی خرابی را در هر تجهیز نام برد و در مقابل از نقاط ضعف این روش می‌توان به عدم توانمندی در شناسایی خطاهای انسانی و همچنین خرابی‌های ناشی از چند جزء به‌طور همزمان اشاره کرد. به‌طور کلی آنالیز بالقوه خرابی در صنایع به دو دسته تقسیم می‌گردد:

- آنالیز بالقوه خرابی در طراحی
- آنالیز بالقوه خرابی در فرایند

استفاده روزافزون از این روش در صنایع باعث توسعه آن به روش آنالیز بالقوه بحرانی‌ترین خرابی^۱ گردید که تنها وجه تفاوت آن دسته‌بندی خرابی‌ها بر اساس شدت وقوع آنها است.

به‌طور کلی مزایای این روش را می‌توان در سادگی و کم هزینه بودن آن خلاصه نمود. با توجه به این مزایا، این روش یکی از پرکاربردترین روش‌ها در صنایع غیرفرایندی از جمله خودرو، مخابرات و صنایع غیر فرایندی دیگر است.

این ارزیابی نیز مانند سایر ارزیابی‌های کیفی و کمی دارای مزایا و معایبی است که به شرح زیر می‌باشند:

- الف) مزایا:
- این روش، بسیار پرکاربرد است البته در صنایع فرایندی به دلیل انجام عملیات پیوسته از آنجایی که گاهی اوقات خرابی ناشی از برهم‌کنش تجهیزات بر یکدیگر است این روش به عنوان یک روش کامل تلقی نمی‌گردد.

1. Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (FMECA)

2. Brainstorming
3. Emergency Plans
4. Modified
5. Center of Chemical Process Safety (CCPS)

که هم روشمند باشد و هم توان بالایی در شناسایی نقاط با پتانسیل خطر داشته باشد که تحقیقات آن‌ها منجر به ابداع این روش گردید. استفاده از این روش در صنایع جداسازی مواد آلی سنگین در سال ۱۹۶۰ باعث شد تا این روش جدید مورد توجه صنایع قرار گیرد و در نهایت توسط کلتز^۶ در سال ۱۹۸۶ و نووتون^۷ در سال ۱۹۹۲ در قالب امروزی ارائه شد.

ارزیابی مخاطرات و راهبردی به صورت گروهی انجام می‌گیرد. اعضای گروه با استفاده از نقشه‌های فرایندی، تجهیزاتی و... و در قالب یک سری کلمات کلیدی^۸، که انحراف تمامی جریان‌ها از حالت عادی فرایندی را شناسایی می‌کنند، به ارزیابی واحد می‌پردازند و در صورت مشاهده امکان بروز حادثه در هر نقطه‌ای از واحد پیشنهادهایی برای کارفرما ارائه می‌کنند که با اجرای آن احتمال وقوع رویداد پایین می‌آید یا اساساً حذف می‌شود. این روش از نوع کیفی و از شاخه روش‌های استنتاجی است که با استفاده از روش‌هایی مثل ماتریس خطر بصورت نیمه کمی هم درمی‌آید.

لازم به ذکر است که، در جلسات ارزیابی از نقشه‌ها و به‌طور کلی داده‌هایی استفاده می‌شود که روزآمد بوده و مطابق با آخرین تغییرات فرایندی باشند. در نتیجه هر واحد فرایندی بعد از اعمال تغییرات باید آنالیز خطر مجددی انجام دهد.

ارزیابی مخاطرات و راهبردی را در هر سه مرحله طراحی، اجرا و بهره‌برداری از واحد می‌توان انجام داد ولی بهتر است تا در مراحل اولیه طراحی این آنالیز اجرا شود. از این روش برای ارزیابی مخاطرات در صنایع مختلف فرایندی استفاده می‌شود ولی معمولاً توصیه می‌شود تا در واحدهایی که شامل تجهیزات زیر هستند حتماً آنالیز اجرا شود.

- صنایعی که با مواد سمی و یا به شدت خورنده کار می‌کنند مثل واحد آمین
- سیستم‌های تزریق گاز
- سیستم‌های حمل‌ونقل گاز مثل تانکر، کشتی و سیستم‌های دیگر حمل‌ونقل گاز
- واحدهای تولید گاز مایع^۹
- واحدهای فرآوری گاز مایع طبیعی^{۱۰}

مخاطرات متحمل بررسی و برای آنها اقدامات کنترلی پیشنهاد می‌شود. اجرای روش پرسش می‌تواند به دو صورت غیر روشمند^۱ و روشمند^۲ انجام پذیرد که روش اول به علت سابقه بیشتر در صنعت متداول‌تر است.

ارزیابی مخاطرات به روش پرسش مانند دیگر روش‌ها دارای مزایا و معایبی است که در زیر به آنها اشاره شده است:

الف) مزایا:

- انعطاف‌پذیری روش و قابل اجرا بودن در هر عملیات، تجهیزات و فرایند
- استفاده از تجربه افراد مجرب در قالب یک گروه
- سریع بودن روش
- این روش پیامد حوادث را بدون ذکر علل آنها بررسی می‌کند و لذا از داده‌های آن برای ارزیابی‌های کمی مخاطرات^۳ می‌توان استفاده کرد.

- امکان ارزیابی هم‌زمان، ترکیبی از خطاهای

ب) معایب:

- ساختار مشخصی برای اجرا وجود ندارد و لذا اگر تعدادی از مخاطرات از قلم افتاده باشند با بازبینی مجدد نمی‌توان آن‌ها را شناسایی کرد.
- کارآمدی روش به تجربه مدیر جلسه و کیفیت جلسات بستگی دارد.

۲-۴ آنالیز مخاطرات و راهبردی

روش ارزیابی مخاطرات و راهبردی، روشی گام به گام برای شناسایی و ارزیابی مخاطرات و انحراف در شرایط فرایندی است؛ این روش نه تنها به شناسایی خطرات بلکه به بهبود عملیات واحد و تولید بهینه کمک می‌کند. از مزایای این روش که موجب برتری و تمایز آن شده است می‌توان به استفاده از ایده‌های نوین در کنار تجربه و افزایش دقت در بررسی خطرات به دلیل روند مرحله‌ای اشاره کرد.

برخلاف سایر روش‌های ارزیابی ریسک، ارزیابی مخاطرات و راهبردی در صنایع شیمیایی متولد شد. در سال ۱۹۶۰ صنایع شیمیایی پادشاهی انگلستان^۵ به دنبال ابداع روشی برای ارزیابی مخاطراتی بود

6. Keltz
7. Knowlton
8. Guide Word
9. Liquefied Petroleum Gas (LPG)
10. Liquid Natural Gas (LNG)

1. Unstructured What if Analysis
2. Structured What if Analysis
3. Quantitative Risk Analysis
4. Combination of Failures
5. Imperial Chemical Industry (ICI)

به دلیل گستردگی روش آنالیز درخت خطا، انجام این تحلیل بدون ابزارهای رایانه‌ای در فرایندهای صنعتی پیچیده از دشواری خاصی برخوردار است. در دهه ۷۰ میلادی همزمان با ورود و رشد نرم‌افزارهای رایانه‌ای در صنایع، استفاده از این نوع آنالیز به طور گسترده‌ای رواج یافت.

روش ارزیابی مخاطرات درخت خطا مثل سایر روش‌های ایمنی دارای نقاط ضعف و قوت است که عبارتند از:

- الف) مزایا:
 - این روش مقبولیت عام یافته و در ارزیابی صنایع، بسیار رایج شده است.
 - از این روش می‌توان برای ارزیابی کمی، وقتی که ترکیبی از شرایط مغایر داریم استفاده کرد.
 - ارائه و توضیح ارزیابی برای دیگران با این روش به دلیل وجود نمودار بسیار ساده است.
 - از نتایج این روش می‌توان در ارزیابی سطح یکپارچه ایمن^۳ استفاده کرد.

ب) معایب:

- برای سیستم‌های بزرگ، این نمودارها بسیار پیچیده و رسم آن‌ها سخت می‌گردد.
- در این روش فرض بر این است که تمام رویدادها مستقل از هم هستند.
- به علت گستردگی رویدادها ممکن است تعدادی از آن‌ها در حین ارزیابی از قلم بیافتند.

۲-۶ آنالیز درخت رویداد:

آنالیز درخت رویداد روشی منطقی برای ارزیابی مخاطرات در واحد است که از یک رویداد ابتدایی^۴ شروع می‌شود و تا رسیدن به پیامدهای^۵ ناشی از آن ادامه می‌یابد. رویداد ابتدایی می‌تواند رویداد اصلی^۶ درخت خطا باشد، به همین دلیل این روش به عنوان روشی تکمیلی برای آنالیز درخت خطا معرفی می‌شود. از درخت رویداد در صنایع هسته‌ای و شیمیایی استفاده می‌شود. مانند درخت خطا، درخت رویداد هم از دسته روش‌های کیفی و از شاخه قیاسی است و

3. Safety Integrity Level (SIL)
 4. Initiating Event
 5. Outcomes
 6. Top Event

- مخازن ذخیره‌سازی گاز
 - پالایشگاه‌ها
- استفاده از آنالیز مخاطرات و راهبردی تا حد زیادی مشکلات مربوط به ارزیابی ریسک را کم کرد، اما این روش نیز خالی از عیب نیست. در ادامه به برخی از نقاط قوت و ضعف این آنالیز اشاره شده است:
- الف) مزایا:
- این روش در یک قالب و چارچوب خاص به ارزیابی می‌پردازد.
 - ترکیب خطاها را نیز با این روش می‌توان ارزیابی کرد.
 - با این آنالیز جنبه‌های عملیاتی واحد کاملاً بررسی می‌شوند.
 - در اجرای آنالیز از تجربه تمام افراد حاضر در جلسات استفاده می‌شود.
- ب) معایب:
- اجرای این آنالیز نیاز به تجربه دارد.
 - این روش از سایر روش‌های ارزیابی ریسک زمان‌برتر است.
 - هزینه اجرای این آنالیز بالاست.

۲-۵ آنالیز درخت خطا

آنالیز درخت خطا روشی نموداری است که بر اساس آن می‌توان مسیر وقوع حوادث را ردیابی کرد. این روش از روش‌های کیفی آنالیز خطا و از شاخه قیاسی است که قابلیت کمی شدن را نیز دارد. برای مثال اگر یک رویداد خاص، مثل بالا آمدن سطح مایع در یک راکتور در نظر گرفته شود، افزایش ناخواسته سطح مایع در راکتور به عنوان رویداد اصلی^۱ تلقی می‌گردد سپس با توجه به رویداد اصلی بایستی رویدادهایی را که منجر به پدید آمدن رویداد اصلی شده اند ریشه یابی نمود. بر اساس تعریف، اینچنین رویدادهایی رویدادهای پایه^۲ نام‌گذاری شده‌اند. به منظور تعیین و دستیابی به رویدادهای پایه از روش‌های کاملاً منطقی استفاده می‌گردد.

آنالیز مخاطرات به روش درخت خطا در مراحل مختلف از جمله مرحله طراحی فرایند اولیه و بهره‌برداری 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 درحال بهره‌برداری نیز، انجام این تحلیل منجر به یافتن نقاط ضعف واحد و نیز امکان سنجی بهبود فرایند خواهد شد.

1. Top Event
 2. Basic Events

۴- مقایسه روش‌ها

پیش از مقایسه روش‌های معرفی شده، باید دسته‌بندی آن‌ها را ارائه کرد تا مقایسه امکان‌پذیر باشد. به‌طور کلی روش‌های کیفی ارزیابی ریسک به دو زیر مجموعه استنتاجی^۵ و قیاسی^۶ تقسیم می‌شوند، در روش‌های استنتاجی مبنای روش، پیدا کردن دلیل هر حادثه و رویداد با بررسی روند منطقی است ولی در روش‌های قیاسی اساس کار مقایسه عوامل مختلف بروز یک حادثه است. براساس این دسته‌بندی روش‌های چک‌لیست، آنالیز بالقوه خرابی، پرسش و آنالیز مخاطرات و راهبردی جزو روش‌های استنتاجی و روش‌های آنالیز درخت خطا و آنالیز درخت رویداد جزو روش‌های قیاسی هستند. حال با این دسته‌بندی می‌توان به مقایسه قابلیت‌های هر روش در دسته خود پرداخت.

چک‌لیست یک روش عمومی است که علاوه بر صنایع شیمیایی تقریباً در تمامی صنایع کاربرد دارد اما در صنایع شیمیایی بیشتر به‌عنوان یک آزمون روزانه در واحدها اجرا می‌شود، البته کاربرد دیگری هم برای این روش متصور است و آن اینکه، چک‌لیست معمولاً به عنوان مرحله اولیه سه آنالیز دیگر یعنی آنالیز بالقوه خرابی، پرسش و آنالیز مخاطرات و راهبردی مطرح است و به کارشناسان ایده‌های لازم برای ارزیابی را می‌دهد. فاکتورهایی مثبتی که باعث رواج این نوع آنالیز در صنایع مختلف شده‌اند عبارتند از هزینه‌های پایین اجرا، قابلیت اجرای انفرادی، مدت زمان کوتاه اجرا و قابلیت تبدیل به آنالیزهای کمی.

در مقابل، روش آنالیز بالقوه خرابی چون اساساً ذات فرایندی ندارد و در صنایع خودرو و مکانیک متولد شده است، دارای محدودیت‌هایی است. این آنالیز را باید روی هر تجهیز به صورت جداگانه و مستقل بررسی کرد و لذا توانایی بررسی اثر مخاطرات ناشی از چند تجهیز را به‌طور همزمان ندارد. نتایج این آنالیز قابل کمی شدن نیست و به شدت به تجربه مجریان آن وابسته است.

روش پرسش، توان بالایی در ارزیابی مخاطرات فرایندی دارد ولی چند مشکل اساسی نیز دربر دارد. اول اینکه قاعده اجرایی مشخصی ندارد و ممکن است در حین اجرا موجب سردرگمی مجریان شود، دوم اینکه به گروهی متخصص و آشنا با فرایند نیاز دارد و سوم اینکه هزینه و زمان اجرای آنالیز زیاد است.

می‌توان با داشتن داده‌های ایمنی نتایج آن را کمی کرد. این روش برای اولین بار توسط موسسه انرژی اتمی انگلستان^۱ برای ارزیابی راکتورهای هسته‌ای ابداع شده است. هر رویداد در این آنالیز فقط می‌تواند امکان وقوع یا عدم وقوع^۲ داشته باشد. درخت رویداد دو جنبه متفاوت کاربردی دارد یکی ارزیابی عوامل ایمنی در واحد^۳ و دیگری بررسی و ارزیابی نتایج وقوع رویداد ابتدایی در واحد^۴.

مانند هر روش ارزیابی دیگری آنالیز درخت رویداد هم دارای نقاط ضعف و قوت است، در این جا به بررسی اجمالی این نقاط می‌پردازیم:

الف) مزایا:

- این روش بسیار کاربردی و پرمصرف است.
- به دلیل اینکه در قالب نمودار ارائه می‌شود درک نتایج ساده است.
- به دلیل روند ساده و منطقی به سادگی قابل فهم است.
- سهولت در محاسبات کمی.

ب) معایب:

- زمانی که تعداد پیامدها و رویدادها زیاد است این روش وقت‌گیر و مشکل‌زا است.
- در این روش فرض بر این است که همه رویدادها مستقل هستند.
- وقتی داده‌های خطای انسانی و شرایط جوی به احتمال‌پذیری‌ها اضافه می‌شود این روش مناسب نیست.

۳- حوزه‌های کاربردی

جدول (۱) حوزه فعالیت و کارآمدی هر یک از روش‌های ذکر شده را نشان می‌دهد:

درباره دو روش آنالیز درخت خطا و آنالیز درخت رویداد اصولاً کاربردی روش به دو عامل بستگی دارد، اول وجود داده‌های احتمال‌پذیری تجهیزات موجود در واحد مورد بررسی و دوم شناسایی نقاط با پتانسیل بالای خطر توسط یکی از روش‌های بالا (در بیشتر موارد HAZOP) و اجرای آنالیز در آن نقاط که لذا در جدول (۱) جای نمی‌گیرند.

1. UK Atomic Energy Authority
2. Yes or No / Success or Failure
3. Pre-Incident
4. Post-Incident

5. Inductive
6. Deductive

جدول ۱- جدول حوزه‌های عملیاتی هر یک از روش‌ها^۱

حوزه عملیاتی	چک‌لیست	آنالیز بالقوه خرابی	پرسش	آنالیز مخاطرات و راهبردی
سر چاه	X			
خط لوله	X	X		
تجهیزات آزمون محصول ^۲			X	
تجهیزات تولید زیر دریا ^۳			X	
عملیات حفاری			X	
سیم‌کشی			X	
ایستگاه پمپاژ		X	X	
تجهیزات چند مرحله‌ای جداسازی		X	X	
کمپرسور گازی		X	X	
تجهیزات تزریق آب به چاه			X	
تانک‌فارم ^۴			X	
تجهیزات خودکار روی سکو			X	
تجهیزات شناسایی بخارات سمی		X		X
سیستم تزریق گاز				X
تجهیزات بارگیری گاز				X
واحد فرآوری LPG				X
واحد فرآوری LNG				X
تجهیزات ذخیره‌سازی گاز		X		X
تجهیزات اپراتوری سکو ^۵				X
پالایشگاه				X
واحد پتروشیمی				X

۱. این جدول از مرجع (۹) برگرفته شده و تغییراتی در آن اعمال شده است.

- 2. Production Test Facility
- 3. Subsea Production Facility
- 4. Tank Farm
- 5. Manned Offshore Facility

این روش‌ها به شرایط مختلفی از جمله بودجه مد نظر کارفرما، محدودیت زمانی، نوع فرایند و تجهیزات و عوامل دیگری بستگی دارد. از دید اقتصادی با صرفه‌ترین روش، استفاده از چک‌لیست و درخت خطا است و پرهزینه‌ترین روش استفاده از آنالیز مخاطرات و راهبردی به همراه درخت خطا و درخت رویداد است. از دید تجهیزاتی و فرایندی نیز با استفاده از نکات ذکر شده درباره هر روش و نیز به کارگیری جدول (۱) می‌توان روش مفیدی را برای ارزیابی انتخاب کرد.

مراجع

- [1] Spouge, J., "A Guide To Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations", 6, 34-44, 1st Edition, New York, U.S, (1999).
- [2] U.S Department of Energy, "DOE Handbook Chemical Process Hazard Analysis", 4, 23-67, 1st Edition, Washington D.C, U.S, (1996).
- [3] Flynn, A. M., Theodore, L., "Health, Safety, And Accident Management In The Chemical Process Industries", 15, 439-449, 1st Edition, New York, U.S, (2002).
- [4] Fullwood, R., "Probabilistic Safety Assessment in The Chemical and Nuclear Industries", 3, 77-120, 2nd Edition, New York, U.S, (2000).
- [5] Macdonald, D., "Practical HAZOPs, Trips and Alarms", 4, 97-116, 1st Edition, Burlington, U.K, (2004).
- [6] Smith, D.J., "Reliability, Maintainability and Risk", 8, 103-115, 6th Edition, London, U.K, (2001).
- [7] Kumamoto, H., "Satisfying Safety Goals by Probabilistic Risk Assessment", 4, 97-103, 1st Edition, London, U.K, (2007).
- [8] Stamatelatos, M., Dr. Vesely, W., "NASA Fault Tree Handbook with Aerospace Applications", 3, 22-27, Version 1.1, Washington DC, U.S, (2002).
- [9] Nolan P.E, D.P., "Application of HAZOP And What-If Safety Reviews To The Petroleum, Petrochemical And Chemical Industries", 6, 23-28, 1st edition, New Jersey, U.S, (1994).
- [10] Crowl, D.A., Louvar, J.F., "Chemical Process Safety Fundamentals With Applications", 1, 23-29, 2nd Edition, New Jersey, U.S, (2002).
- [11] www.AICh.org

اما در باره آنالیز مخاطرات و راهبردی، شاید به جرات بتوان گفت که این روش کامل‌ترین و جامع‌ترین روش کیفی ارزیابی مخاطرات است. داشتن چهارچوب مشخص، بررسی تمامی اجزای واحد، دسته‌بندی مخاطرات و نیمه کمی کردن نتایج (در صورت استفاده از ماتریس ریسک) همگی از فاکتورهای مثبت این روش به شمار می‌آیند. البته این روش نقاط ضعفی هم دارد از جمله هزینه بالا جهت اجرا، مدت زمان طولانی اجرا و وابستگی شدید به تجربه گروه که تا حدی از مقبولیت آن می‌کاهد؛ با وجود این شرایط، هنوز هم این روش به عنوان بهترین و کارآمدترین روش ارزیابی ریسک مطرح است.

دو آنالیز درخت خطا و درخت رویداد از این جهت که با روش‌های قبل در یک گروه نیستند، قابل مقایسه با آنها نمی‌باشند، اما یک مزیت نسبت به روش‌های ذکر شده دارند و آن هم کمی شدن است، به طوری که حتی در برخی مراجع این دو روش در بین روش‌های کمی ارزیابی مخاطرات گنجانده می‌شوند.

آنالیز درخت رویداد تا حدودی وابسته به درخت خطا است زیرا همان‌طور که قبلاً گفته شد، رویداد ابتدایی درخت رویداد معمولا همان رویداد اصلی درخت خطا است. این وابستگی موجب ضعف درخت رویداد شده است. این ضعف زمانی بارزتر می‌شود که اگر بدانیم شناسایی رویداد اصلی درخت خطا هم به یک آنالیز استنتاجی مثال HAZOP نیاز دارد. در مقابل نقطه قوت این دو روش ارائه نتایج در قالب نمودار است که فهم آن را برای کاربر آسان‌تر می‌کند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی و مقایسه ساختاری و کاربردی شش روش کیفی ارزیابی مخاطرات پرداختیم. این روش‌ها عبارتند از روش چک‌لیست، پرسش، آنالیز بالقوه خرابی، آنالیز مخاطرات و راهبردی، آنالیز درخت خطا و آنالیز درخت رویداد. ابتدا شرح اجمالی از هر کدام ارائه گردید و سپس حوزه‌های کاربردی هر کدام مشخص گردید و در آخر، آنها با هم مقایسه شدند. با توجه به مطالب ذکر شده در بخش‌های قبلی به نظر می‌رسد که برای ارزیابی کامل یک واحد فرایندی نیاز به استفاده همزمان از یک روش استنتاجی و یک روش قیاسی داریم. انتخاب ترکیب مناسبی از