

# معرفی روش‌های شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک

فاطمه بسحاق<sup>۱</sup>، محمد بسحاق<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

۲- کارشناس ارشد مدیریت بازرگانی، شرکت نفت و گاز اروندان

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۷/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۲۱

پیام‌نگار: Boshagh.m.oil@gmail.com

## چکیده

در این تحقیق با بررسی روش‌های کیفی، کمی و ترکیبی شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک آشنا می‌شویم. روش‌های کیفی، شامل تجزیه و تحلیل مقدماتی مخاطره، بازبینی، پرسش، بازبینی - پرسش، حالات نقص و آثار، دو واژه راهنما، مطالعه مخاطرات فرایندی و قابلیت عملکرد، روش‌های کمی شامل لایه حفاظتی، شاخص حریق و انفجار داو و شاخص مواجهه با مواد شیمیایی داو، و روش‌های ترکیبی شامل درخت خطا، درخت رویداد، علت- معلول و قابلیت اطمینان انسانی معرفی شده‌اند. سپس عوامل مؤثر بر انتخاب این روش‌ها تشریح شده است. تحلیل آماری مقالات علمی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ نشان می‌دهند که فراوانی نسبی روش‌های کمی ۶۵/۶۳، روش‌های کیفی ۲۷/۶۸ و روش‌های ترکیبی ۶/۷۰ درصد است. روش‌های ترکیبی به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردشان پیچیدگی زیادی دارند که از پراکندگی گسترده آنها جلوگیری می‌کند. بیشترین روش‌های تحلیل ریسک در بخش‌های صنعت (۵۳/۷۱٪)، مکانیک (۱۲/۳۸٪) و حمل‌ونقل (۱۲/۸۷٪) و کمترین آن در بخش محیط زیست (۰/۴۳٪) استفاده شده‌اند.

کلیدواژه‌ها: شناسایی مخاطرات، ارزیابی ریسک، روش‌های کیفی، کمی و ترکیبی.

## ۱. مقدمه

در کالیفرنیا (سال ۱۹۹۹) و فاجعه شهر تگزاس (سال ۱۹۴۷) اشاره کرد. شدت یک سانحه می‌تواند از لحاظ اقتصادی، انسانی و زیست‌محیطی بررسی شود. از لحاظ اقتصادی، عملیات یک فرایند در صورت عدم بروز سوانح، کاهش زبان‌های مرتبط با توقف فرایند، پرداخت غرامت و جریمه، ایمن است و در عین حال، به دلیل بهره‌وری، درآمدها افزایش می‌یابد. جنبه‌های دیگر، مانند آثار زیست‌محیطی و بهداشت حرفه‌ای کارکنان، از مزایای یک عملیات ایمن به‌شمار می‌آید. جز مسائل اقتصادی، مقررات سخت‌تر و نگرانی عمومی از حوادث صنعتی و حضور بیشتر مواد شیمیایی صنعتی باعث شده پیشگیری از حوادث یک وظیفه اصلی در فرایندهای

طی تاریخ فرایندهای صنعتی، حوادث زیادی از ملایم تا فاجعه بار اتفاق افتاده است. از جمله این حوادث می‌توان به حوادث مجتمع شیمیایی بوپال<sup>۱</sup> در هندوستان (سال ۱۹۸۴)، مجتمع شیمیایی سوسو<sup>۲</sup> در ایتالیا (سال ۱۹۷۶)، پالایشگاه فیسین<sup>۳</sup> در فرانسه (سال ۱۹۶۶)، پالایشگاه گاز پیمکس<sup>۴</sup> در مکزیک (سال ۱۹۸۴)، نیروگاه اتمی چرنوبیل در اوکراین (سال ۱۹۸۶)، پالایشگاه توسکو<sup>۵</sup>

\* خوزستان، میدان نفتی دارخوین، شرکت نفت و گاز اروندان

1. Bhopal
2. Seveso
3. Feyzin
4. Pemex
5. Tosco

محور عمودی نشان داده می‌شود. مرتبه ماتریس<sup>۸</sup> (RR) از حاصلضرب شدت در احتمال به دست می‌آید. آرایه‌های درون ماتریس ریسک کیفی‌اند و ریسک با استفاده از سیستم نسبی صفات و یا رنگ‌ها رده بندی می‌شود (جدول (۲)). در تجزیه و تحلیل کمی ریسک، بر اساس اطلاعات محاسبه شده تخمین عینی زده و عددی از ریسک مورد نظر ارائه می‌شود.

مرور مقالات علمی انتشار یافته در سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ حاکی از سهم ۶/۵۶ درصدی مقالات در حوزه ایمنی و تحلیل ریسک است که این مقالات در زمینه‌های مختلفی چون مهندسی، مکانیک، صنعت، پزشکی، شیمی، محیط زیست، زیست‌شناسی و جز آنها منتشر شده‌اند. بخش‌های صنعت (۵۳/۷۱٪)، مکانیک (۱۲/۳۸٪) و حمل‌ونقل (۱۲/۸۷٪) بیشترین تعداد و بخش محیط زیست (۰/۴۳٪) کمترین تعداد مقاله را به خود اختصاص داده‌اند.

در این تحقیق با برخی روش‌های کیفی، کمی و ترکیبی شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک و عوامل مؤثر بر انتخاب این روش‌ها آشنا می‌شویم. روش‌های کیفی، شامل تجزیه و تحلیل مقدماتی مخاطره، بازبینی، پرسش، بازبینی- پرسش، حالات نقص و آثار، دو واژه راهنما و مطالعه مخاطرات فرایندی و قابلیت عملکرد، روش‌های کمی شامل تجزیه و تحلیل لایه حفاظتی، شاخص حریق و انفجار داو و شاخص مواجهه با مواد شیمیایی داو و روش‌های ترکیبی، شامل تجزیه و تحلیل درخت خطا، درخت رویداد، علت - معلول و قابلیت اطمینان انسانی معرفی شده‌اند.

جدول ۱. نمونه‌های انواع مخاطرات.

نوع مخاطره	مثال
عامل	مواد سمی، مواد خوردنده، ماده جهش‌زا، گازهای سمی، مواد قابل اشتعال، مواد منفجره، مواد اکسیدکننده
شرایط	فشار بالا و پایین، سر و صدا، میدان مغناطیستی، پرتو فرابنفش، پرتو X، سرمای شدید، سطوح گرم
فعالیت	افزایش مقیاس، انتقال فاضلاب، حمل و نقل مواد خطرناک، اختلاط شیمیایی، گرم کردن مواد شیمیایی

8. Risk Ranking (RR)

صنعتی باشد. مواد خوردنده، گازهای سمی، آتش سوزی، انفجار، نشت مایع خطرناک و گرد و غبار قابل احتراق می‌توانند حوادث فاجعه باری در فرایندهای صنعتی به بار آورند. اطمینان از ایمنی فرایند در یک مرکز از طریق عوامل بسیاری مانند بهره‌گیری از فناوری مناسب در طراحی و ساخت، پیش بینی آثار شرایط خارجی، درک و برخورد با رفتار انسان و برخورداری از سیستم‌های مدیریت مؤثر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تمام این تلاش‌ها به یک برنامه موفق ارزیابی مخاطرات بستگی دارد. بدون این ارزیابی، شرکت نمی‌داند چه لایه‌های از حفاظت مورد نیاز است.

تجزیه و تحلیل مخاطرات فرایندی<sup>۱</sup> (PHA) کاربرد یک یا چند روش تحلیلی برای شناسایی و ارزیابی مخاطرات فرایندی با هدف تعیین کفایت یا نیاز به اقدامات کنترلی است. این روش نه تنها مشکلات ایمنی را شناسایی می‌کند، بلکه راه‌حل‌های مناسبی چون تغییرات فرایند، راهبردهای کنترلی جدید یا بهره‌گیری از ابزار ایمنی را برای بالا بردن سطح ایمنی پیشنهاد می‌دهد. مخاطره<sup>۲</sup> یک خاصیت فیزیکی یا شیمیایی به شمار می‌آید که از امکان بالقوه آسیب رساندن به انسان، محیط زیست و سرمایه سازمان برخوردار است. نمونه‌هایی از انواع مخاطرات در جدول (۱) درج شده است. تجزیه و تحلیل کمی ریسک<sup>۳</sup> (QRA) عنوان کلی روش‌هایی است که ریسک‌های مربوط به یک فعالیت خاص را به صورت کمی برآورد می‌کنند. شناسایی مخاطرات پیش نیاز ضروری برای تجزیه و تحلیل کمی ریسک است. مدیریت ایمنی فرایند<sup>۴</sup> (PSM) عبارت است از کاربرد اصول و روش‌های مدیریت برای شناسایی، ارزیابی، جلوگیری و کنترل حوادث ناشی از آزاد شدن انرژی و مواد شیمیایی فرایند. برای شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک روش‌های کیفی، کمی و ترکیبی (کیفی، کمی، نیمه کمی) زیادی در دسترس است. در ارزیابی کیفی ریسک<sup>۵</sup>، ارزش ریسک هر مخاطره تعیین می‌شود و در ارزیابی کمی ریسک، سوانح را مدلسازی و مقدار عددی ریسک را تعیین می‌کنند. ریسک تابعی از دو مؤلفه<sup>۶</sup> یک مخاطره، احتمال و شدت<sup>۷</sup> است. به منظور برآورد کیفی ریسک، از ماتریس ریسک بهره می‌گیرند که در آن شدت بر روی محور افقی و احتمال بر روی

1. Process Hazards Analyses (PHA)  
 2. Hazard  
 3. Quantitative Risk Analysis (QRA)  
 4. Process Safety Management (PSM)  
 5. Qualitative Risk Analysis  
 6. Likelihood (L)  
 7. Severity (S)

جدول ۲. ماتریس ریسک [۲].

۵	۴	۳	۲	۱	وخامت احتمال
۵	۴	۳	۲	۱	۱
۱۰	۸	۶	۴	۲	۲
۱۵	۱۲	۹	۶	۳	۳
۲۰	۱۶	۱۲	۸	۲	۴
۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	۵

## ۲. روش‌های شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک

### ۲-۱ روش‌های کیفی

#### ۲-۱-۱ تجزیه و تحلیل مقدماتی مخاطره<sup>۱</sup> (PreHA)

روش مقدماتی مخاطره از برنامه ایمنی سیستم استاندارد نظامی آمریکا برگرفته شده است. این روش، غالباً برای ارزیابی مخاطرات اولیه در طول یک فرایند به کار می‌رود. آنالیز مقدماتی مخاطره، به طور کلی، در طول طراحی مفهومی یا فاز تحقیق و توسعه یک فرایند به کار می‌رود و می‌تواند هنگام تصمیم‌گیری انتخاب محل احداث سایت مفید باشد. همچنین، معمولاً به عنوان یک ابزار بررسی طرح قبل از اینکه نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق<sup>۲</sup> تدوین و ترسیم شود، به کار می‌رود. فهرست مقدماتی مخاطرات<sup>۳</sup> (PHL) برای تهیه فهرستی از مخاطرات شناخته شده و محل تردید، به کار می‌رود. گزارش این روش شامل همه مخاطرات، علت‌ها، آثار، گروه مخاطره و پیشنهادات است (جدول (۳)). مخاطرات به چهار گروه جزئی، حاشیه‌ای<sup>۴</sup>، بحرانی و فاجعه بار تقسیم بندی می‌شود. از جمله معایب این روش عدم توانایی آن در شناسایی خطاهای ترکیبی است.

#### ۲-۱-۲ تجزیه و تحلیل بازبینه<sup>۵</sup> (فهرست کنترل)

فهرست مفصلی از صفات یا مراحل سیستم مورد نظر که برای رسیدن به یک هدف خاص به کار می‌رود، بازبینه نامیده می‌شود. معمولاً بر مبنای تجربه نوشته شده است و برای ارزیابی مقبولیت یا وضعیت سیستم و یا عملیات در مقایسه با ملاک‌های ثابت به کار گرفته می‌شود. بازبینه را می‌توان در هر مرحله از عمر فرایند به کار برد و برای هر جزئی از فرایند مانند تجهیزات، دستورالعمل‌ها، مواد شیمیایی و خود فرایند قابل اجراست؛ از جمله مزایای آن ساده و سریع بودن و استفاده آسان توسط کاربر است. محدود بودن به توانایی و قابلیت نویسنده آن و کیفیت اسناد استفاده شده، از جمله معایب این روش به‌شمار می‌آیند. بازبینه قادر به شناسایی نقاط جدید خطر نیست و باید به طور منظم و به منظور لحاظ کردن تجربیات جدید بازنگری و به روز شود.

#### ۲-۱-۳ تجزیه و تحلیل پرسش<sup>۶</sup> (چه می‌شود - اگر)

این روش بر اساس طوفان مغزی استوار است و در آن یک گروه افراد با تجربه آشنا با موضوع فرایند، پرسش‌ها یا نگرانی‌هایی را در مورد اتفاقات ناخواسته ممکن مطرح می‌کنند. این روش از واژگان راهنما برای کمک به طوفان مغزی بهره نمی‌برد. از آنجا که یک روش انعطاف‌پذیر است، در هر مرحله‌ای از عمر فرایند می‌توان از آن بهره گرفت. سریع و انعطاف‌پذیر بودن، امکان ارزیابی همزمان ترکیبی از خطاها و قابل اجرا بودن در هر عملیات، تجهیزات و فرایند، از جمله مزایای این روش به‌شمار می‌آیند. این روش، ساختار یافته نیست و بازدهی آن به تجربه افراد بستگی دارد. در جدول (۴) نمونه‌ای از برگه گزارش تجزیه و تحلیل پرسش درج شده است.

#### جدول ۳. برگه گزارش تجزیه و تحلیل مقدماتی مخاطره.

ناحیه:		تاریخ جلسه:		
شماره طراحی:		اعضای تیم:		
مخاطره	علت	آثار	گروه مخاطره	پیشنهادات اصلاحی / جلوگیری‌کننده

1. Preliminary Hazard Analysis (PreHA)
2. Piping & Instrumentation Diagrams (P&ID)
3. Preliminary Hazards List (PHL)
4. Marginal

#### ۲-۱-۴ تجزیه و تحلیل بازبینه - پرسش

این روش از مزایای جداگانه هر دو روش، یعنی تفکر خلاقانه مزیت روش پرسش و ساختاریافتگی مزیت روش بازبینه بهره می‌برد. این روش نیز در هر مرحله‌ای از عمر فرایند به کار می‌آید و بازدهی آن به تجربه افراد بستگی دارد. در این روش برای آمادگی ذهنی افراد برای طرح پرسش‌ها، از بازبینه‌های مربوط به آن واحد بهره گرفته می‌شود.

5. Check-List Analysis  
6. What-If Analysis

جدول ۴. برگه گزارش تجزیه و تحلیل پرسش.

تاریخ جلسه:		ناحیه:					
اعضای تیم:		شماره طراحی:					
پیشنهادات	محافظ	ماتریس ریسک			معلول	علت	چه می‌شود - اگر
		مرتبۀ ریسک (RR)	احتمال (L)	شدت (S)			

### ۲-۱-۵ تجزیه و تحلیل دو واژه راهنما<sup>۱</sup>

واحدهای فرایندی، توقف واحدها، تعمیر و نگهداری تجهیزات و عملیات ناپیوسته طبیعی<sup>۲</sup> کاربرد دارد، اما برای عملیات پیوسته به کار نمی‌رود. در جدول‌های (۵) و (۶) واژه‌های راهنما و نمونه‌ای از برگه گزارش تجزیه و تحلیل دو واژه راهنما درج شده است.

روشی نظام‌مند است که در آن مشکلات عملیاتی بالقوه با پرسیدن چه اتفاقی خواهد افتاد اگر عملیات حذف شود، و یا چه اتفاقی خواهد افتاد اگر در اجرای عملیات اشتباه رخ دهد، شناسایی می‌شوند. این روش برای مراحل پیش راه اندازی و راه اندازی

جدول ۵. معرفی واژه‌های راهنما، معنی و مفهوم آن‌ها برای تجزیه و تحلیل دو واژه راهنما [۱۰].

مفهوم	معنی	لغت راهنما
این مرحله یا بخشی از آن انجام نشده است. فراموش کردن اپراتور، درک نکردن اهمیت آن و یا قرار نداشتن این مرحله در روش، از جمله دلایل از قلم افتادن یک مرحله هستند.	از قلم افتاده	حذف
اپراتور تمایل به انجام این مرحله دارد اما آن را اشتباهی اجرا کرده است. معکوس کردن ترتیب مراحل و دستکاری اشتباه اجزای فرایند از جمله دلایل اشتباهی اجرا کردن یک مرحله هستند.	به طور اشتباه انجام شده	اشتباه

جدول ۶. برگه گزارش تجزیه و تحلیل دو واژه راهنما.

شماره طراحی:		تیم:						
شماره بازیابی:		تاریخ جلسه:						
پیشنهادات	ماتریس ریسک			محافظها	معلول	علت	انحراف	فقره
	RR	L	S					

1. 2 Guide Word Analysis  
2. Normal Batch

## ۲-۱-۶ مطالعه مخاطرات فرایندی و قابلیت عملکرد<sup>۱</sup> (HAZOP Study)

تعداد گره‌ها باعث کندشدن سرعت مطالعه می‌شود. در این روش ابتدا انحراف از گرایش طراحی (شرایط عملیاتی نرمال یا متعارف) برای هر تجهیز بررسی می‌شود، سپس علت‌های انحراف را مشخص می‌کنند. پیامدهای این انحراف، اقدامات اصلاحی و در صورت کافی نبودن لایه‌های حفاظتی، پیشنهادهایی برای جلوگیری یا کاهش ریسک سازه ارائه می‌شود. انحرافات می‌توانند به علل متعددی باشد، که درباره هر یک باید بحث کرد. از کنارهم قرار نهادن واژه راهنما و پارامتر فیزیکی، انحراف از گرایش طراحی به دست می‌آید. در جدول‌های (۷)، (۸) و (۹) برگه گزارش تجزیه و تحلیل مخاطرات فرایندی و قابلیت عملکرد، واژه‌های راهنما و پارامترها درج شده‌اند. این روش به دو صورت علت با علت<sup>۴</sup> و انحراف با انحراف<sup>۵</sup> انجام می‌شود که روش علت با علت دقیق‌تر از انحراف با انحراف است. این روش برای شناسایی مخاطرات به طور جامع تضمین ایجاد می‌کند. ترکیب خطاها را می‌توان با این روش ارزیابی کرد و برای سیستم‌های پیچیده قابل استفاده است. جنبه‌های عملیاتی واحد کاملاً بررسی می‌شوند. خطاهای انسانی را پوشش می‌دهد و نتایج آن قابل گزارش‌اند. این روش به زمان، هزینه، اطلاعات، مهارت‌ها و تجربه زیادی نیاز دارد.

روشی خلاقانه و نظام‌مند به‌شمار می‌آید که در آن مشکلات عملیاتی بالقوه با سودجستن از یک رشته واژگان راهنما، به منظور بررسی انحرافات فرایند، توسط تیم چند رشته‌ای شناسایی می‌شوند. این روش در کلیه مراحل عمر یک سیستم (هر سه مرحله طراحی، اجرا و بهره برداری واحد) و نیز برای فرایند موجود (در حال کار) به منظور شناسایی مخاطرات به کار می‌رود، ولی اجرا و بهره‌گیری از یافته‌های آن در فاز طراحی بسیار مفیدتر و نتایج آن از قابلیت اجرای بیشتری برخوردار است. اندیشه اصلی که این روش بر آن مبتنی است از این قرار است که اگر فرایند در راستای گرایش طراحی عمل کند، دچار سانحه‌ای نخواهد شد. در صورت انحراف از گرایش طراحی، مخاطرات ناخوشایند مطرح می‌شوند. پس از فراهم آوردن اطلاعات مورد نیاز و تعیین اعضای گروه و مشخص کردن اهداف مطالعه، نخستین مرحله برای اجرای این روش، تقسیم کردن نقشه‌های لوله کشی و ابزار دقیق به قسمت‌های کوچکتر (گره<sup>۲</sup>) است. از دیدگاه انجمن مهندسی شیمی آمریکا<sup>۳</sup> هر دستگاه به همراه ابزار دقیق و تجهیزات پیرامونی آن، دست کم یک گره است. افزایش

### جدول ۷. برگه گزارش تجزیه و تحلیل مخاطرات فرایندی و قابلیت عملکرد.

پیشنهادات	شماره طراحی:			معلول	علت	انحراف	فقره
	ماتریس ریسک	شماره بازبینی:	محافظها				
	RR	L	S				

### جدول ۸. معرفی واژه‌های راهنما، معنی و مفهوم آن‌ها برای تجزیه و تحلیل مخاطرات فرایندی و قابلیت عملکرد [۴، ۱۰].

مفهوم	معنی	لغت راهنما
به هیچ بخشی از گرایش طراحی نخواهیم رسید ولی اتفاق دیگری نیز روی نخواهد داد.	عدم دستیابی به تمایل طراحی	عدم
خصوصیات فیزیکی مربوطه بیشتر از حدی است که باید باشد.	افزایش کمی	بیشتر
خصوصیات فیزیکی مربوطه کمتر از حدی است که باید باشد.	کاهش کمی	کمتر
فرایند عکس حالت تعریف شده اتفاق می‌افتد.	متضاد تمایل طراحی	برعکس
تنها به بخشی از گرایش طراحی خواهیم رسید.	کاهش کیفی	جزئی از
به هیچ بخشی از گرایش طراحی نخواهیم رسید و اتفاق متفاوتی روی خواهد داد.	جایگزینی کامل	به جای اینکه
به تمام گرایش طراحی خواهیم رسید اما فعالیت دیگری نیز اضافه خواهد شد.	افزایش کیفی	به‌علاوه

1. Hazard And Operability (HAZOP) Study  
4. Cause-by-Cause (CBC)

2. Node  
5. Deviation-by-Deviation (DBD)

3. American Society of Chemical Engineering

**جدول ۹. پارامترهای تجزیه و تحلیل مخاطرات فرایندی و قابلیت عملکرد.**

انواع پارامتر			
جریان	زمان	فرکانس	مخلوط کردن
فشار	ترکیب درصد	گرانروی	اضافه کردن
دما	pH	ولتاژ	جداسازی
سطح	سرعت	اطلاعات	واکنش

شدت (S) × تشخیص (D) × وقوع (O) = RPN

**۲-۲ روش‌های کمی**

**۲-۲-۱ تجزیه و تحلیل لایه حفاظتی<sup>۵</sup> (LOPA)**

یکی از روش‌های ارزیابی کمی (و گاه نیمه کمی) است که از مقادیر از پیش تعریف شده برای رویدادهای آغازگر<sup>۶</sup>، لایه‌های حفاظتی مستقل (IPLs)<sup>۷</sup> و پیامدها سود می‌جوید تا برآوردی از مرتبه بزرگی ریسک ارائه کند. سناریوها در جای دیگری (معمولاً در روش‌های ارزیابی کیفی مخاطرات مانند روش hazop) تعریف شده‌اند. این روش برای ارزیابی لایه‌های حفاظتی مستقل و تعیین میزان تأثیر توابع ابزار دقیق ایمنی (SIF)<sup>۸</sup> موجود در یک سیستم فرایندی به کار می‌رود. لایه‌های حفاظتی مستقل باید از سه ویژگی اثربخشی، عدم وابستگی و قابلیت ممیزی برخوردار باشند. سیستم‌های ابزار دقیق ایمنی (SIS)<sup>۹</sup> تجهیزات و سیستم‌هایی‌اند که همواره فرایند را کنترل می‌کنند و اگر فرایند از حالت متعارف خارج شود، آن را به حالت ایمن هدایت می‌کنند و با معیار سطح یکپارچگی ایمنی (SIL)<sup>۱۰</sup> سنجیده می‌شوند. براساس استاندارد ISEA - S84.01/ANSI SILها به سه سطح SIL1, SIL2, SIL3 و براساس استاندارد IEC61508/61511 به چهار سطح SIL1, SIL2, SIL3, SIL4 تقسیم‌بندی می‌شوند (جدول (۱۱)). SIL1 پایین‌ترین و SIL4 بالاترین سطح یکپارچگی ایمنی است. یکپارچگی هر لایه حفاظتی مستقل با کمیت بدون بعد احتمال شکست در زمان مورد نیاز (PFD)<sup>۱۱</sup>، نشان داده می‌شود. هرچه سطح SIL بالاتر باشد، احتمال شکست در زمان مورد نیاز برای یک SIF پائین‌تر آمده و حاکی از در دسترس بودن بیشتر آن SIF است. این روش در مراحل توسعه فرایند، طراحی فرایند، عملیات راه‌اندازی، اصلاحات، تعمیر و نگهداری و از کار افتادن واحدها قابل استفاده است. عامل کاهش ریسک (RRF)<sup>۱۲</sup> به صورت  $RRF=1/PFD$  تعریف می‌شود.

**۲-۱-۷ تجزیه و تحلیل حالات نقص و آثار<sup>۱</sup> (FMEA)**

این روش عبارت است از جدولی نظام‌مند برای ارزیابی و مستندسازی چگونگی خرابی یکی از تجهیزات و آثار حالت‌های بالقوه خرابی تجهیزات (باز، بسته، روشن، خاموش، نشستی، ترک، اندازه بزرگتر از حد مورد نظر، اندازه کوچکتر از حد مورد نظر و غیره) روی واحد یا سیستم. آثار این خرابی‌ها از روی پاسخ سیستم به خرابی دستگاه تعیین می‌شود. این روش برای سیستم‌های الکتریکی/مکانیکی کاربرد دارد. همچنین، می‌تواند برای سیستم‌های جریان که در آن عواملی با قابلیت اطمینان بسیار پدیده مورد نیاز است (مانند سیستم‌های تامین آب آتش نشانی) بهره گرفته شود. بررسی تجهیز به تجهیز واحد با این روش سبب می‌شود تجهیز بحرانی واحد را شناسایی کنند که در صورت خرابی آن کار واحد متوقف می‌شود. از جمله معایب این روش، عدم توانایی آن در شناسایی خطاهای انسانی و خطاهای ترکیبی است. در جدول (۱۰)، نمونه‌ای از برگه گزارش تجزیه و تحلیل حالت‌های نقص و آثار درج شده است. عدد اولویت ریسک (RPN)<sup>۲</sup> از حاصلضرب شدت در وقوع<sup>۳</sup> در تشخیص<sup>۴</sup> به دست می‌آید. مخاطرات براساس سه عامل یادشده، از ۱ تا ۱۰ (کم به زیاد) طبقه‌بندی می‌شوند و از حاصلضرب سه عامل، RPN که عددی بین ۱ تا ۱۰۰۰ است، به دست می‌آید. هر چه RPN بالاتر باشد اولویت آن برای تجزیه و تحلیل جامع تر و تخصیص منابع بیشتر است.

**جدول ۱۰. برگه گزارش تجزیه و تحلیل حالت‌های نقص و آثار.**

تاریخ: واحد: سیستم:	صفحه ... از ... مرجع: اعضای تیم:	فرقه	حالت خرابی	علت	حالت عملیاتی	آثار	روش شناسایی خرابی	محافظها	S	O	D	RPN	اقدامات پیشنهادی

1. Failure Modes And Effects (FMEA) Analysis
4. Detection
7. Independent Protection Layers (IPLs)
10. Safety Integrity Level (SIL)

2. Risk Priority Number(RPN)
5. Layer of Protection Analysis (LOPA)
8. Safety Instrumented Functions (SIF)
11. Probability of Failure on Demand (PFD)

3. Occurrence
6. Initiating Events
9. Safety Instrumented Systems (SIS)
12. Risk Reduction Factor (RRF)

جدول ۱۱. انواع SIL [۶].

دسترس پذیری (%)	RRF=1/ PFD	دسترس پذیری (۱ - PFD)	SIL
۹۰/۰۰-۹۹/۰۰	۱۰-۱۰۰	$10^{-1}$ - $10^{-2}$	۱
۹۹/۰۰-۹۹/۹۰	۱۰۰-۱۰۰۰	$10^{-2}$ - $10^{-3}$	۲
۹۹/۹۰-۹۹/۹۹	۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	$10^{-3}$ - $10^{-4}$	۳
> ۹۹/۹۹	۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	$10^{-4}$ - $10^{-5}$	۴

موجود در همسایگی صناعی است که در آنجا احتمال رهایی مواد شیمیایی وجود دارد. در این شاخص، آثار رهایی مواد شیمیایی طبق پنج عامل سمیت حاد، جزء فرآر ماده‌ای که می‌تواند رها شود، فاصله تا ناحیه خطر، وزن مولکولی ماده، پارمترهای فرایندی مختلف، مانند دما، فشار، واکنش پذیری و مانند آنها در نظر گرفته می‌شود، و بر این مبنا شاخص خطر و حریم خطر مواجهه با مواد شیمیایی محاسبه خواهد شد. هر دو شاخص داو جزء ابزارهای غربالگری محسوب می‌شوند و می‌توانند برای ارزیابی مخاطرات دشوار و پیچیده، مدلسازی پیامدها و ارزیابی کمی ریسک به کار گرفته شوند.

### ۲-۳ روش‌های ترکیبی

#### ۲-۳-۱ تجزیه و تحلیل درخت خطا<sup>۴</sup> (FTA)

یکی از روش‌ها، مدلسازی قیاسی<sup>۵</sup> است که به صورت نموداری بین خرابی تجهیزات، خطای انسانی و عوامل زیست‌محیطی که می‌توانند به بروز سانحه انجامند، رابطه برقرار می‌کند. این روش از عبارتهای منطقی بولین<sup>۶</sup> (دروازه‌های منطقی یا - و<sup>۷</sup>) بهره می‌گیرد. در این روش رویداد اصلی<sup>۸</sup> به عنوان نقطه شروع در بالاترین قسمت درخت خطا جای می‌گیرد. رویداد اصلی در هر درخت خطا منحصر به فرد است. مرحله اول این روش، شناسایی رویدادها و دروازه‌ها<sup>۹</sup> است. دروازه‌ها با حروف و رویدادها با اعداد مشخص می‌شوند. اگر یک رویداد پایه بیش از یک بار در درخت خطا مشاهده شود، هر بار نام یکسان دارد. مثلاً، رویداد پایه ۲ در شکل (۱)، دوبار با نام یکسان ظاهر شده است. نشانه‌های به کار رفته در این روش را در

### ۲-۲-۲ شاخص حریق و انفجار داو<sup>۱</sup> (DOW F&EI)

این شاخص که آن را شرکت شیمیایی داو ارائه کرده است، یکی از شاخص‌های ارزیابی سیستماتیک و منظم پتانسیل نسبی حریق، انفجار و واکنش‌پذیری تجهیزات فرایندی و مواد موجود در آنها به‌شمار می‌آید. این روش عمدتاً در عملیاتی که مواد قابل اشتعال، قابل احتراق و واکنش پذیر ذخیره، جابه‌جایی و فراوری شده، به کار می‌آید و هدف آن تعیین پیامدهای ناشی از حریق و انفجار و شناسایی روش‌هایی برای کاهش دادن شدت و خسارت ناشی از حریق و انفجار است. این روش برای ارزیابی از سه عامل کلی، یعنی عامل مواد<sup>۲</sup> (مانند سمی بودن و آتش‌گیر بودن)، عامل مخاطرات فرایندی عمومی (مانند واکنش‌های گرماگیر و گرمازا، جابجایی مواد و قابلیت دسترسی به تجهیزات مورد نظر) و عامل مخاطرات فرایندی خاص (مانند شرایط دمایی و فشاری و میزان خوردگی ماده) سود می‌جوید. از حاصلضرب عامل مخاطرات فرایندی عمومی و خاص، عامل مخاطرات واحد فرایندی به دست می‌آید و از حاصلضرب عامل مخاطرات واحد و عامل مواد، شاخص حریق و انفجار محاسبه می‌شود. آنگاه، در صورت بالا بودن عدد ریسک با بهره‌گیری از نرم‌افزار مدلسازی انجام می‌شود تا شعاع و محدوده مخاطره تعیین شود. کاربرد عمده این روش در مرحله طراحی برای شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و در مرحله عملیات برای تهیه اطلاعات از مخاطرات و پیشنهاد برای ارتقاء پیشگیری‌های ایمنی است.

### ۲-۲-۳ شاخص مواجهه با مواد شیمیایی داو<sup>۳</sup> (DOW CEI)

این شاخص که شرکت شیمیایی داو آن را ارائه داده است، یکی از روش‌های رتبه‌بندی خطرات بالقوه برای سلامتی جمعیت یا جامعه

4. Fault Tree Analysis (FTA)  
5. Deductive  
6. Boolean  
7. Or & And  
8. Top Event  
9. Gates

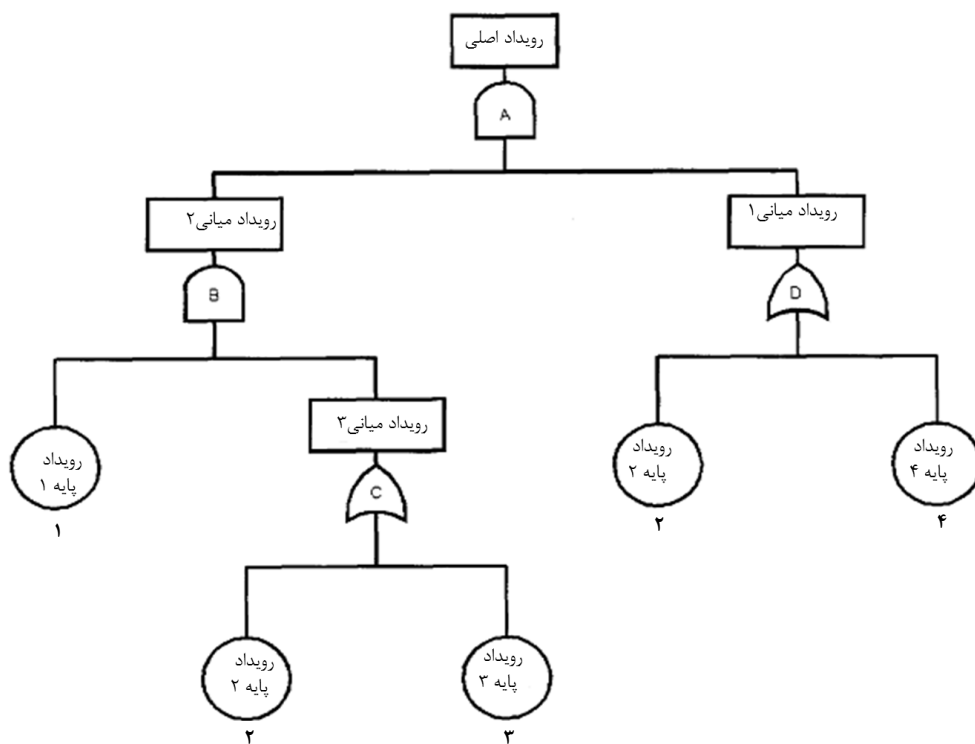
1. Dow Fire and Explosion Index (F&EI)  
2. Material Factor (MF)  
3. Dow Chemical Exposure Index (CEI)

بهره گرفت. در این روش فرض می‌شود رویدادها از یکدیگر مستقل‌اند. در سیستم‌های بزرگ، این روش بسیار پیچیده و ترسیم منحنی دشوار می‌شود و به نرم افزارهای اختصاصی نیاز دارد.

جدول (۱۲). و مثالی از ساختار را درخت خطا در شکل‌های (۱) و (۲) مشاهده می‌کنید. این روش، به دلیل انعطاف‌پذیری‌اش در مراحل مختلف، از جمله طراحی اولیه و بهره‌برداری قابل استفاده است. از نتایج این روش می‌توان در ارزیابی SILها

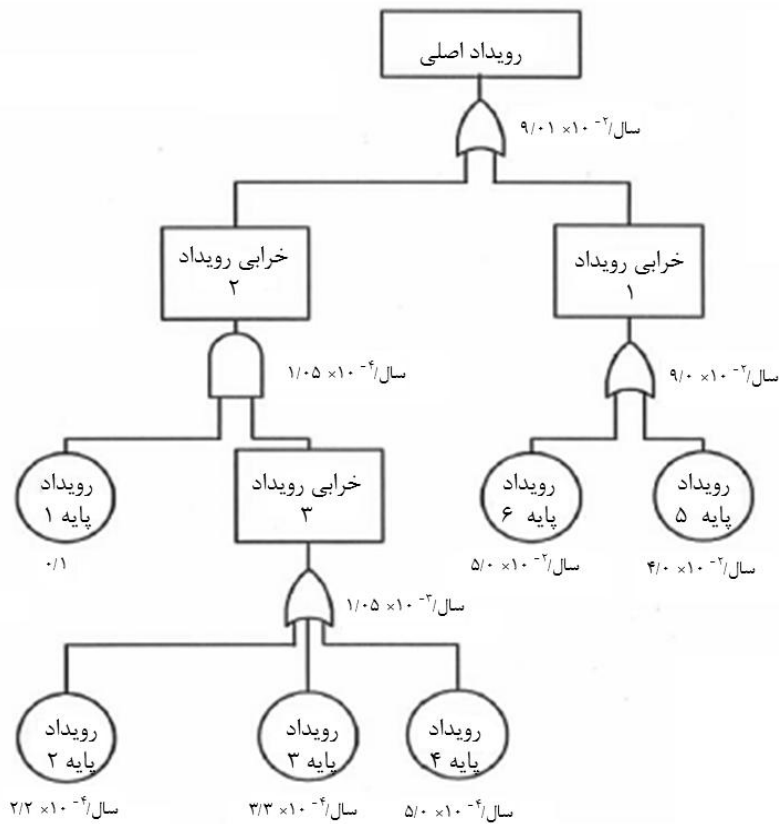
جدول ۱۲. نمادهای به‌کار رفته در تجزیه و تحلیل درخت خطا [۱۰، ۸].

	رویداد اصلی		دروازه شرطی
	رویداد میانی		دروازه و
	رویداد پایه		دروازه یا
	رویداد توسعه نیافته		دروازه تاخیر
	رویداد خانه‌ای ۱		انتقال به خارج
	رویداد شرطی		انتقال به داخل



شکل ۱. نمونه ساختار تجزیه و تحلیل درخت خطا [۱۰].

1. House event



شکل ۲. نمونه ساختار تجزیه و تحلیل درخت خطا [۱۰].

حاکی از شکست است. در مرحله بعدی، ترتیب پیامدهای مختلف رویدادها توصیف می‌شود. در این روش هم مانند درخت خطا فرض می‌شود رویدادها از هم مستقل‌اند. برای حالتی که تعداد پیامدها و رویدادها زیاد باشد، این روش وقت‌گیر و دشوار است.

### ۲-۳-۳ تجزیه و تحلیل علت - معلول (CCA)

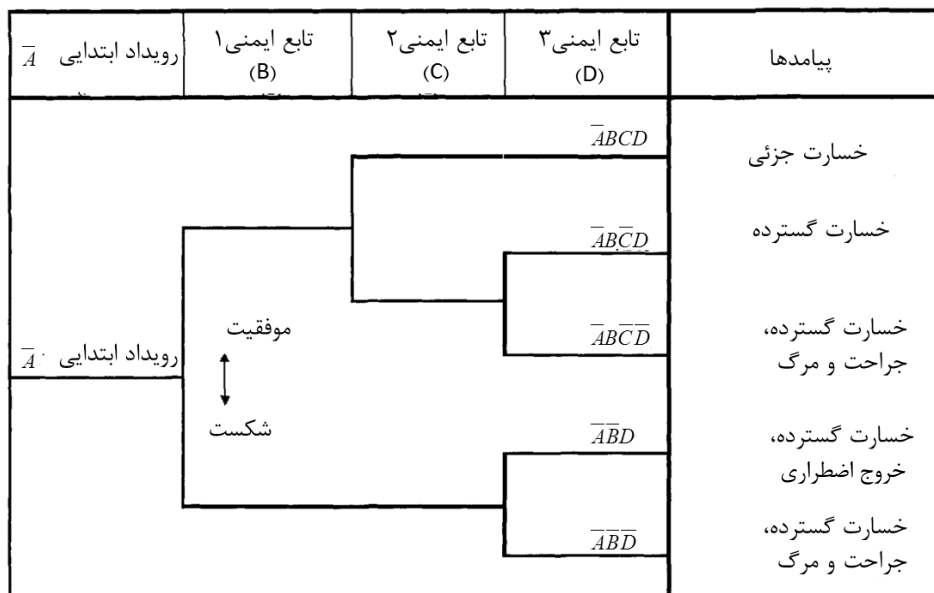
تجزیه و تحلیل علت-معلول ترکیبی از درخت خطا و درخت رویداد است. این روش بین پیامدهای رویداد با علت اساسی آن‌ها، به شکل نموداری و با نمادهای مخصوص به خود (جدول (۱۳)) رابطه برقرار می‌کند. در این روش، درخت خطا و رویداد در قالب یک نمودار مشاهده می‌شود (شکل (۵)) و معمولاً هنگامی که منطبق خرابی یک رویداد آنالیز شده نسبتاً ساده باشد، این روش قابل استفاده است. در این روش هر دو تحلیل قیاسی و استقرایی به کار می‌رود.

### ۲-۳-۲ تجزیه و تحلیل درخت رویداد (ETA)

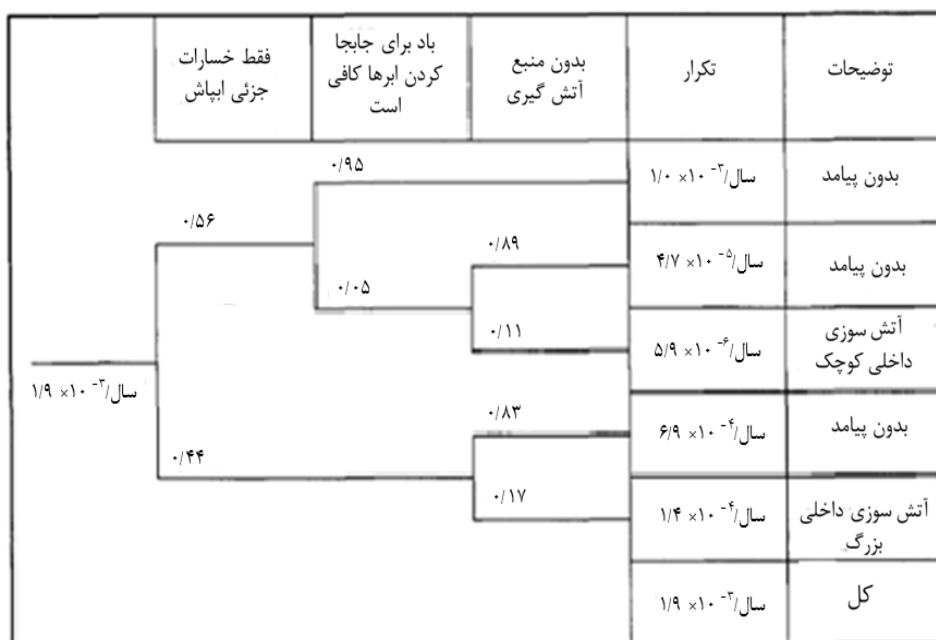
یکی از روش‌های مدل‌سازی استقرایی<sup>۲</sup> است که به صورت نموداری بین رویدادها و چگونگی ترتیب رویدادها ارتباط برقرار می‌کند. این آنالیز با یک رویداد ابتدایی<sup>۳</sup> آغاز می‌شود و تا رسیدن به پیامدهای<sup>۴</sup> ناشی از آن ادامه می‌یابد. نخستین مرحله در ساختار درخت رویداد تعیین رویداد ابتدایی و محافظ‌هایی است که به کار برده شده‌اند. رویداد ابتدایی در قسمت سمت چپ صفحه و محافظ‌ها بالای صفحه فهرست می‌شوند (شکل‌های (۳) و (۴)). مرحله بعدی، بررسی محافظ‌هاست. به طور کلی، دو حالت موفقیت یا شکست برای هر محافظ در نظر گرفته می‌شود. درخت رویداد به دو شاخه تقسیم می‌شود؛ اگر مسیر به سمت بالا باشد، موفق عمل کرده و اگر به سمت پایین حرکت کند شکست خورده است. حروف (مثلاً، A, B, C) حاکی از موفقیت و علامت بار روی حروف (مثلاً  $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ )

1. Event Tree Analysis (ETA)
2. Inductive
3. Starting event
4. Outcomes

5. Cause-Consequence Analysis (CCA)

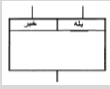
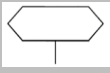


شکل ۳. ساختار تجزیه و تحلیل درخت رویداد [۱۰].



شکل ۴. ساختار تجزیه و تحلیل درخت رویداد [۱۰].

جدول ۱۳. نمادهای به کار رفته در تجزیه و تحلیل علت- معلول [۱۰].

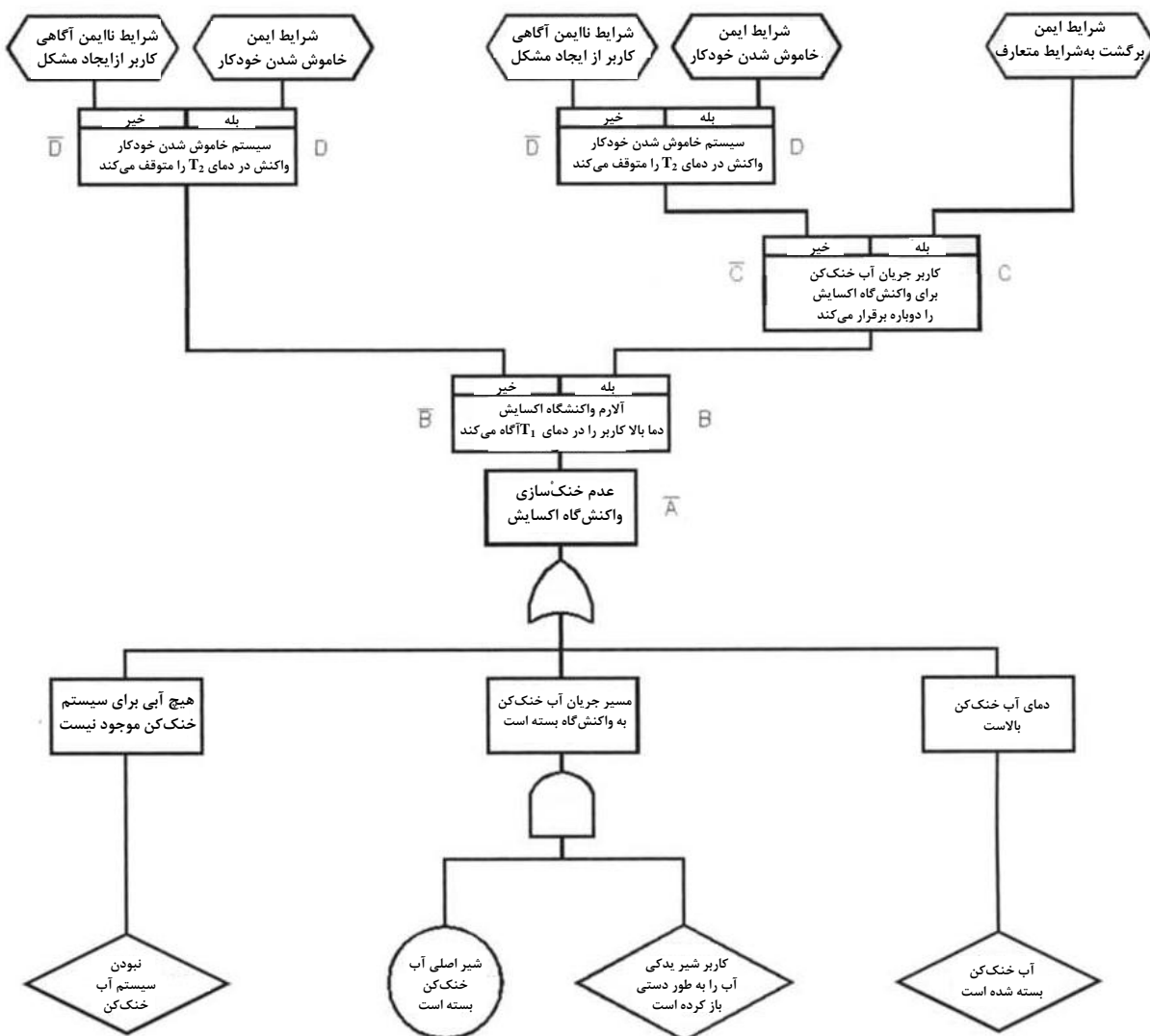
	نقطه انشعاب
	پیامد

## ۲-۳-۴ تجزیه و تحلیل درخت رویداد قابلیت اعتماد

انسانی<sup>۱</sup> (HRA)

یک روش ارزیابی نظام‌مند خطاهای انسانی مرتبط با وظایف شغلی، مدلسازی و کمی‌سازی این خطاها و ارائه راهکارهای لازم برای پیشگیری از وقوع این خطاها یا کاهش پیامدهای آنهاست. این روش عبارت است از یک مدل نموداری از رویدادهای متوالی که در آن اعضای درخت، فعالیت‌های انسان و رویدادهای دیگر، و نیز شرایط مختلف و یا تأثیرات بر این رویدادها را نشان می‌دهند.

عوامل مؤثر بر عملکرد<sup>۲</sup> (PIFs) یا عوامل شکل‌دهنده عملکرد<sup>۳</sup> (PSFs) شامل عوامل درونی (مانند استرس، هیجان، آموزش و تجربه) و یا عوامل بیرونی (مانند ساعات کار، محیط کار و روش) است. این عوامل موفقیت یا شکست یک فرایند یا عملیات را آشکارا متأثر می‌کنند. تجزیه و تحلیل قابلیت اعتماد انسانی برای شناسایی و بهبود بخشی عوامل مؤثر بر عملکرد و کاهش شدت خطاهای انسانی به کار می‌رود. نمونه‌ای از ساختار درخت رویداد قابلیت اعتماد انسانی را در شکل (۶) مشاهده می‌کنید.

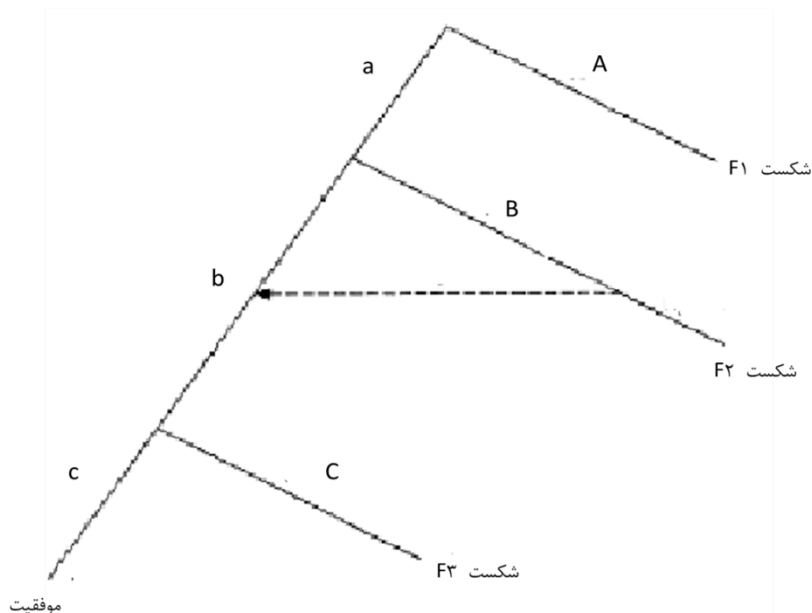


شکل ۵. ساختار تجزیه و تحلیل علت - معلول [۱۰].

1. Human Reliability Analysis (HRA) event tree

2. Performance Influencing Factors (PIFs)

3. Performance Shaping Factors (PSFs)



شکل ۶. ساختار درخت رویداد قابلیت اعتماد انسان [۱۰].

### ۳. عوامل مؤثر بر انتخاب روش شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک

هر یک از روش‌های شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک از نقاط قوت و ضعف منحصر به فردی برخوردار است. درک این ویژگی‌ها پیش‌نیاز انتخاب یک روش ارزیابی مناسب است. انتخاب یک روش ارزیابی مناسب برای شخص بی‌تجربه دشوار است، ولی برای تحلیل‌گران با تجربه آسان‌تر و تا حدودی غریزی است. شش عامل که تحلیل‌گران باید در هنگام انتخاب روش مناسب برای یک برنامه خاص در نظر گیرند، شامل موارد زیر است. هر یک از این دسته بندی‌ها ممکن است از تجهیز دیگری، شرکتی به شرکت دیگر و صنعتی به صنعت دیگر متفاوت باشد.

۱. هدف مطالعه: انجام یک ارزیابی مخاطره بدون درک انگیزه و برخورداری از هدفی که به خوبی تعریف شده است، به احتمال زیاد اتلاف منابع است. تحلیل‌گران مخاطرات نسبت به انتخاب مناسب‌ترین روش ارزیابی مسئول‌اند و با جمع کردن منابع فیزیکی، شیمیایی و انسانی باید هدف مطالعه را بخوبی تعریف کنند.
۲. نوع نتایج مورد نیاز: بسته به انگیزه و هدف ارزیابی مخاطره، انواع نتایج را می‌توان برای برآورد منشور مطالعه به‌دست آورد.

۳. پنج دسته از اطلاعاتی که از ارزیابی مخاطرات به‌دست می‌آیند، شامل فهرست مخاطرات، فهرست موقعیت‌های بالقوه حادثه، فهرست جایگزین‌ها برای کاهش ریسک و یا مناطق نیاز به مطالعه بیشتر، اولویت‌بندی نتایج و ورودی برای تجزیه و تحلیل کمی ریسک است.
۴. نوع اطلاعات موجود برای انجام مطالعه: دو شرط تعیین‌کننده اطلاعات برای تیم ارزیابی مخاطرات، عبارت‌اند از مرحله عمر فرایند یا فعالیت و کیفیت اسناد موجود. نخستین شرط برای هر ارزیابی ثابت است و تحلیل‌گر نمی‌تواند هر چیزی که آن را تغییر دهد انجام دهد. مرحله دوم دسترسی به اسناد و اطلاعات با کیفیت است. برخورداری از اطلاعات و اسناد ناقص و بی‌کیفیت نه تنها اتلاف زمان و هزینه است، بلکه به دلیل نتایجی که ممکن است اشتباه باشند، خطرناک است.
۵. مشخصه‌های دشواری: برای انتخاب یک روش ارزیابی مخاطرات، تحلیل‌گر باید به خصوصیات خاص فرایند در حال مطالعه بنگرد. این ویژگی‌ها را می‌توان به پنج حوزه پیچیدگی و ابعاد مشکل، نوع فرایند، نوع عملیات، ماهیت ذاتی مخاطرات و رویدادها یا موقعیت‌های آشفته تقسیم کرد.
۶. ریسک مشاهده شده از موضوع فرایند: نه روش ارزیابی خطر و

دست رفتن وضعیت مهم حادثه بسیار اهمیت دارد.  
 ۶. در دسترس بودن منابع و اولویت مدیران و تحلیل‌گران: عوامل دیگری می‌توانند در انتخاب روش ارزیابی مخاطرات مؤثر باشند. برخی از این عوامل شامل برخورداری از کارکنان ماهر و آگاه، زمان، منابع مالی، اولویت تحلیل‌گران خطر و مدیران است.

بسیاری از روش‌های ارزیابی مخاطرات به تعامل خلاق اعضای تیم نیاز دارند. معمولاً جلسات تیم می‌تواند روزها، هفته‌ها و یا ماه‌ها، بسته به پیچیدگی موضوع، طول بکشد. در جدول (۱۴) معیارهای انتخاب روش ارزیابی مخاطرات درج شده است.

نه تحلیل‌گر می‌تواند تضمین کند که تمامی شرایط ممکن حادثه یک فرایند شناسایی شده است. زیرا روش، تحلیل‌گران، تیم و مطالعات نمی‌توانند کامل باشند. این محدودیت را می‌توان به کمک دو روش جبران کرد. اول، استفاده از تیم چند رشته‌ای برای انجام تجزیه و تحلیل است. این راهبرد کلید انجام ارزیابی مخاطرات با کیفیت بالا در هنگام بهره‌گیری از روش‌های خاص (مانند HAZOP) است. دوم، سازمان تمایل دارد از روش‌های نظام‌مندتر برای آن دسته از فرایندهایی بهره‌گیر که در معرض ریسک بالاترند. بنابراین، درک گسترده‌تر ریسک فرایند، برای کمینه کردن احتمال از

جدول ۱۴. معیارهای انتخاب روش مناسب شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک [۹].

تعریف هدف مطالعه				
بررسی جدید	انجام مجدد بررسی قبلی	بررسی مکرر	تجدید اعتبار بررسی قبلی	نیاز خاص
تعیین نوع نتایج مورد نیاز				
فهرست مخاطرات	اولویت‌بندی نتایج	غربال کردن مخاطرات	ورودی برای QRA	آیتم‌های عملی
فهرست موقعیت‌های بالقوه حادثه				
شناسایی اطلاعات فرایند				
مواد	PFD	تجارب مشابه	فرایند موجود	
شیمی	P & ID		تاریخچه عملیات	
فهرست اموال	روش‌ها			
بررسی خصوصیات مشکلات				
حالت	نوع فرایند	نوع عملیات	ماهیت ذاتی مخاطرات	رویداد یا موقعیت آشفته
ساده	شیمیایی	پیوسته	سمیت	نرم افزار
پیچیده	فیزیکی	ناپیوسته	قابلیت اشتعال	سخت افزار
ابعاد مشکل	مکانیکی	نیمه پیوسته	واکنش پذیری	روش
کوچک	زیستی	موقت	پرتوزا	انسان
بزرگ	الکتریکی	دائمی	خورندگی	تک عیب
	الکترونیکی	تجهیزات ثابت	قابلیت انفجار	عیب چندگانه
	کامپیوتر	انتقالی	گرد و خاک	رویداد خسارت عملکرد
	انسانی		خطرات فیزیکی	رویداد خسارت محدود
			سایر	فرایند آشفته
در نظر گرفتن تجربه و ریسک مشاهده شده				
میزان تجربه	تجربه رویداد	ارتباط تجربه	ریسک مشاهده شده	
طولانی	کم	تغییرات کم	بالا	
کوتاه	زیاد	تغییرات زیاد	متوسط	
فقط با فرایند مشابه	رایج	بدون تغییر	کم	
هیچکدام	هیچکدام			
در نظر گرفتن منابع و اولویت‌ها				
در دسترس بودن پرسنل ماهر و آگاه	منابع مالی	اولویت تحلیل‌گران و مدیران	زمان	انتخاب روش

#### ۴. استانداردها

از دیدگاه ایمنی و حفظ سلامت همگانی، استانداردها، معیارها و شاخصهایی اند علمی، فنی و تجربی که به صورت قواعد پذیرفته شده‌ای برای تعیین میزان فرآورده‌های تولیدی، حفظ سلامت همگان و ایجاد تفاهم و تسهیلات در مبادلات بازرگانی به کار گرفته می‌شوند. سطوح استاندارد غالباً در پنج سطح کارخانه‌ای، شرکتی، ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی‌اند. از جمله مزایای بهره‌گیری از استانداردها کاهش ریسک و بهبود عملکرد است. در زیر چند استاندارد مرجع را معرفی می‌کنیم:

۱-۴ استانداردهای انجمن ملی حفاظت در برابر آتش (NFPA)<sup>۱</sup> حوزه کاربردی این استاندارد تنها در زمینه ایمنی و آتش‌نشانی است و کلیه صاحبان صنایع، شرکت‌های بیمه و ممیزان حریق مخاطبان این استانداردها هستند.

۲-۴ استانداردهای مؤسسه ملی استاندارد آمریکا (ANSI)<sup>۲</sup> یک مؤسسه خصوصی و غیرانتفاعی در آمریکاست که بر روند ایجاد استانداردهای جامع اختیاری برای محصولات، خدمات، سیستمها و کارمندان نظارت می‌کند.

۳-۴ استانداردهای انجمن بین‌المللی تجهیزات ایمنی (ISEA)<sup>۳</sup> مأموریت این انجمن حمایت و ارتقاء منافع و سود سازمان‌های عضو حفاظت از ایمنی و بهداشت انسان در برابر خطرات محیط کار در سراسر جهان و تدوین استانداردهای جدید در زمینه تجهیزات حفاظت شخصی است.

۴-۴ استانداردهای سازمان ایمنی و بهداشت شغلی (OSHA)<sup>۴</sup> استانداردهای این سازمان انواع مختلف مخاطرات محیط‌های کاری را پوشش می‌دهند. در مواردی که استاندارد تدوین شده‌ای در دسترس نباشد، باید از استانداردهای عمومی پیروی کرد. این استانداردها در چهار بخش صنایع عمومی، دریایی، کشاورزی و صنعت ساختمان و سازه دسته‌بندی می‌شوند.

#### ۴-۵ استانداردهای انجمن نفت آمریکا (API)<sup>۵</sup>

انجمن نفت آمریکا استانداردهای نفت و فرایندها و تجهیزات پتروشیمی را تدوین کرده است. این استانداردها شامل موارد مختلفی چون مته‌های حفاری، حفاظت از محیط زیست، مهندسی صدا، فرایندهای عملیاتی، تجهیزات و مواد است.

#### ۴-۶ استانداردهای مؤسسه استاندارد انگلستان (BSI)<sup>۶</sup>

این مؤسسه با بیش از ۵۰۰ کمیته تخصصی در ۱۱۰ کشور جهان خدماتی چون صدور گواهینامه، بازرسی، آزمون محصول، تدوین و توسعه استانداردهای محلی، ملی و بین‌المللی، آموزش سیستم‌های مدیریتی، اطلاع‌رسانی و غیره را انجام می‌دهد.

#### ۴-۷ استانداردهای اتحادیه اروپا (EN)<sup>۷</sup>

حوزه‌های عمده‌ای که تحت پوشش استانداردهای اتحادیه اروپا قرار می‌گیرند عبارتند از: ساختمان، بهره‌برداری از گاز، زیرساخت‌های فعالیت‌های مرتبط با گاز، مراقبت‌های بهداشتی، اطلاعات و ارتباطات، ماشین‌آلات، ایمنی و بهداشت حرفه‌ای، تجهیزات حفاظت فردی و تجهیزات تحت فشار.

#### ۴-۸ استانداردهای سازمان بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)<sup>۸</sup>

وظیفه تدوین و انتشار استانداردهای بین‌المللی IEC در حوزه گسترده برق، مکانیک و الکترونیک و زمینه‌های مرتبط را بر عهده دارد.

#### ۴-۹ استانداردهای سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)<sup>۹</sup>

سازمان بین‌المللی استاندارد، به منظور یکپارچه کردن تدوین استاندارد در سراسر جهان، ایجاد تسهیلات در تجارت بین‌الملل، حمایت از تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان و توسعه همکاری‌های علمی- فناوری و اقتصادی تأسیس شد. تعداد استانداردهای ISO در حال حاضر بیش از ۱۱۹۵۰ مورد است. نمونه‌هایی از استانداردهای به‌کار گرفته شده در زمینه ایمنی و ارزیابی ریسک در جدول (۱۵) درج شده‌اند.

5. American Petroleum Institute  
6. British Standards Institution  
7. European Standards  
8. International Electrotechnical Commission  
9. International Organization for Standardization

1. National Fire Protect Association  
2. American National Standard Institute  
3. International Safety Equipment Association  
4. Occupational Safety and Health Administration

جدول ۱۵. استانداردهای به کار گرفته شده در ارزیابی ریسک.

استاندارد	مورد استفاده
IEC 61025	درخت خطا
IEC 60812	حالات نقص و اثرات
EN 1050	ایمنی ماشین آلات
BS IEC 61882	مطالعه مخاطرات فرایندی و قابلیت عملکرد
IEC61511	سیستم‌های ابزار دقیق ایمنی

### ۵. نتیجه گیری کلی

شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک نیاز همیشگی هر فرایند یا فعالیت است. امروزه، استفاده از روش‌های ارزیابی ریسک در صنایع مختلف افزایش یافته است، به طوری که در حال حاضر انواع مختلف روش‌های کیفی، کمی و نیمه کمی شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک در دنیا وجود دارد. هر یک از صنایع و شرکت‌ها، بسته به نیاز و پیچیدگی فعالیت خود، می‌تواند از روش‌های یادشده بهره گیرد. این روش‌ها برای شناسایی، کنترل و کاهش پیامدهای مخاطرات به کار می‌روند و از نتایج آنها برای مدیریت و تصمیم‌گیری استفاده می‌شود. در این مقاله با برخی روش‌های کیفی، کمی و ترکیبی شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک آشنا شدیم. همه روش‌های معرفی شده در این تحقیق برای فرایندهای شیمیایی صنعتی کاربرد

دارند و برای استفاده در وضعیت‌های مختلف مناسب‌اند. هر کدام از روش‌های یادشده نقاط قوت و ضعف خاص خود را دارند. تقریباً روشی وجود ندارد که بتواند به عنوان روش همه کاره و همه منظوره برای کلیه شرایط مناسب باشد. بسیاری از روش‌های ارزیابی ریسک مکمل یکدیگرند، زیرا هر کدام از روش‌ها سیستم مورد نظر را به شکل خاص و از دیدگاه خود تجزیه و تحلیل می‌کند. در برخی مطالعات، نتایج به دست آمده در یک روش ارزیابی به عنوان خوراک و ورودی روش دیگر به کار گرفته می‌شود. بسته به شرایط گوناگونی چون نوع فرایند، پیچیدگی، نوع عملیات و سطح مخاطره، می‌توان هر کدام از روش‌ها یا ترکیبی از آنها را به کار برد (جدول (۱۶)). سازمان‌ها به سیستمی نیاز دارند که علاوه بر ارزیابی فعالیت‌ها و فرایندها بتواند در زمینه وضعیت ریسک، تعیین معیارهای ریسک قابل تحمل و مشخص کردن دقیق ریسک فرایندهایشان آنها را راهنمایی کند. یک برنامه ارزیابی ریسک موفق باید بتواند با استفاده از حداقل منابع مورد نیاز نتایجی با کیفیت بالا ارائه کند تا بتوان تصمیمات به موقع برای افزایش سطح ایمنی فرایند اتخاذ کرد.

### ۶. تشکر و قدردانی

از راهنمایی‌های جناب آقای فرزاد اکبری بسیار سپاسگزاریم.

جدول ۱۶. مقایسه روش‌های شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک [۹].

نوع عملیات	نوع فرایند		پیچیدگی فرایند		سطح خطر		روش		
	نایب‌بوسته توقف واحد آنالیز نگهداری راه‌اندازی	پیوسته	مکانیکی - الکتریکی	جریان	زیاد	کم		زیاد	کم
×	×	×	×	×			×		تجزیه و تحلیل مقدماتی مخاطره
×	×	×	×	×	×			×	بازبینی
×	×	×	×	×	×			×	پرسش
×	×	×	×	×	×			×	بازبینی - پرسش
	×	×	×	×	×			×	حالات نقص و اثرات
×		×	×	×	×			×	دو واژه راهنما
×	×		×	×	×			×	مطالعه خطر و قابلیت عملکرد
×	×	×	×	×	×			×	تجزیه و تحلیل لایه حفاظتی
×	×		×	×	×			×	شاخص حریق و انفجار داو
×	×		×	×	×			×	شاخص مواجهه با مواد شیمیایی داو
×	×	×	×	×	×			×	درخت خطا
×	×	×	×	×	×			×	درخت رویداد
×		×	×	×	×			×	قابلیت اعتماد انسانی

- [1] Rodriguez, M., de la Mata, L. J., "Automating HAZOP studies using D-higraphs", *Comput. Chem. Eng.* 45, 102– 113, (2012).
- [2] Marhavidas, P. K., Koulouriotis, D., Gemeni, V., "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", *J. Loss Prevent. Proc.* 24, 477-523, (2011).
- [3] Hyatt, N., "Guidelines for Process Hazards Analysis, Hazards Identification and Risk Analysis", 1st Edition, CRC Prsss, (2004).
- [4] Galante, E., Bordalo, D., Nobrega, M., "Risk Assessment Methodology: Quantitative Hazop", *J. Safety Eng.* 3, 31-36, (2014).
- [5] Marhavidas, P. K., Koulouriotis, D. E., Voulgaridou, K., "Development of a quantitative risk assessment technique and application on an industry's worksite using real accidents' data", *Scientific Journal of Hellenic Association of Mechanical & Electrical Engineers*, 416, 14-20, (2009).
- [6] Foord, A. G., Gulland, W. G., Howard, C. R., Kellacher, T., Smith, W. H., "Applying the latest standard for functional safety - IEC 61511", 150, (2004).
- [7] Kavarianian, H. R., Rao, J. K., Brown, G. V., " Application of hazard evaluation techniques to the design of potentially hazardous industrial chemical processes", (1992).
- [8] U.S Department of Energy, DOE Handbook Chemical Process Hazard Analysis, 2nd Edition, Washington D.C, U.S, (2004).
- [9] Bridges, W., "Selection of Hazard Evaluation Techniques", (2004).
- [10] Center for Chemical Process Safety, "Guidelines for Hazard Evaluation Procedures", 3rd Edition, American Institute of Chemical Engineers, New York, (2008).
- [11] Center for Chemical Process Safety, "Guidelines for developing quantitative safety risk criteria", 1st Edition, American Institute of Chemical Engineers, New York, (2009).
- [12] Flynn, A. M., Theodore, L., "Health, Safety, and Accident Management in the chemical process industries", 1<sup>st</sup> Edition, New York, (2002).
- [13] Department of Defense, Military Standard System Safety Program Requirements, MIL-STD-882D, Washington, DC, (2000).
- [14] AIChE/ASME Professional and Technical Training Courses, "HAZOP Studies and other PHA Techniques for Process Safety and Risk Management," American Society of Mechanical Engineers, New York, (2007).
- [15] Center for Chemical Process Safety, "Guidelines for Safe and Reliable Instrumented Protective Systems", American Institute of Chemical Engineers, New York, (2007).
- [16] Center for Chemical Process Safety, "Layer of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment", American Institute of Chemical Engineers, New York, (2001).
- [17] Stamatelatos, M., Vesely, W., "NASA Fault Tree Handbook with Aerospace Applications", (2002).
- [18] American Institute of Chemical Engineers (AIChE), "Dow's Chemical Exposure Index Guide", Wiley-AIChE, (1998).
- [۱۹] دانشور، م.، " بررسی استانداردهای مربوط به HSE و سازمان‌های ارائه دهنده آنها"، ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز، شماره ۱۰۱، (۱۳۹۲).