هفتمین کنفرانس بین‌المللی
مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی

ارزیابی ریسک دینامیک حریق مخازن سقف شناور با استفاده از روش ریسک بارومتر

لیلا مقصودی[۱]، عمران احمدی[۲]

۱- پژوهشگر مستقل، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران،leila_maghsodi@yahoo.com
۲- استادیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای ، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، o.ahmadi@modares.ac.ir

چکیده

در عصر حاضر با رشد صنعت و تکنولوژی مخاطرات متنوع و فراوانی صنایع را تهدید میکنند که بایستی کنترل و مدیریت شوند. ارزیابی ریسک‌های استاتیک به دلیل محدودیت‌های ذاتی فاقد عنصر وایستگی متقابل عملکرد ریسک و زمان هستند. آموزش، بارکاری، انگیزه برای فرهنگ ایمنی و رویه ها جنبه هایی هستند که ممکن است با تکنیک های مرسوم ارزیابی ریسک ، که به طور سنتی بر جنبه های فنی تمرکز می کنند ، نادیده گرفته شوند لذا برای غلبه بر محدودیت‌های روش‌های سنتی ارزیابی ریسک ارزیابی ریسک دینامیک توسعه پیدا کردند. روش ریسک بارومتر از جمله روشهای ارزیابی ریسک دینامیک میباشد که توسط مرکز عملیات یکپارچه CIO ا با هدف نظارت مداوم بر تغییرات تصویر ریسک و حمایت از تصمیم گیرندگان در عملیات روزانه در صنایع نفت گاز توسعه داده شده است. در این روش بروز رسانی ریسک توسط پایش شاخص‌های مرتبط برای ارزیابی مداوم سلامت موانع ایمنی و ارزیابی احتمال شکست آنها انجام میشود و به همین دلیل روش پیشگیرانه محسوب میشود. در این مطالعه مدل ریسک بارومتر بر سناریو حریق نشت بند مخزن سقف شناور بنزین در یکی از پالایشگاهها ساخته شد و تغییرات شاخصها و احتمال وقوع حریق در یک بازه زمانی ۶ ماهه پایش گردید. بهبود شرایط شاخصها در پنجمین ماه مطالعه تغییر و کاهش محسوسی در احتمال وقوع TOP EVENT (حریق نشت بند) را نشان میدهد. نتایج این مطالعه پتانسیل استفاده از این روش را در صنایع فرایندی برای پیاده سازی مدیریت ایمنی موثر فرایند را نشان میدهد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی کمی ریسک، ارزیابی ریسک پویا، ریسک بارومتر ، ارزیابی ریسک حریق، حریق مخازن سقف شناور

مقدمه

با توسعه صنایع و رشد تکنولوژی مسئله ریسک در صنعت و تنوع مخاطرات به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. رویدادهایی که مربوط یه مواد خطرناک هستند هراس‌آورترین نوع مخاطرات محسوب میشوند. این مواد میتوانند از نظر ماهیت و اثر متفاوت باشند و بر اساس تعریف اخیر شورای اتحادیه اروپا به صورت اختصار CBRNE (Chemical, Biological, Radiological, Nuclear and Explosive) تعریف میشوند. از دست رفتن کنترل این مواد منجر به رویدادهای با احتمال کم و شدت بالا میشود. به همین دلیل ارزیابی ریسک دقیق برای سیستمهایی که شامل چنین موادی هستند برای پیشگیری از اینگونه رویدادها ضروری است [۱]. در اتحادیه اروپا رویدادهای با احتمال کم و شدت بالا "مخاطرات بزرگ" نامیده میشوند [۲].

وقوع حوادثی همچون حادثه بوپال در سال ۱۹۸۴، حادثه Piper alpha در سال ۱۹۸۸ و حادثه seveso در سال ۱۹۷۶ در طول سالها موجب ایجاد قوانینی شد که بر کنترل و مدیریت ریسکهای صنایع فرایندی تاکید میکرد. قوانین مربوط به ایمنی صنعتی اروپا با هدف کنترل "مخاطرات بزرگ" مربوط به مواد شیمیایی پس از حادثه SEVESO با همین نام تهیه شد [۳]. لذا اهمیت ارزیابی ریسک در چندین دهه گذشته به شدت افزایش یافته است و آنالیز ریسک به عنوان یک ابزار ضروری و سیستماتیک که نقش مهمی در مدیریت خطر دارد شناخته می‌شود. ارزیابی کمی ریسک یکی از متداولترین

روشهای کنترل و مدیریت ریسک در صنایع شیمیایی و فرایندی است [۴].

ارزیابی کمی ریسک (QRA)

ارزیابی کمی ریسک هنر و علم توسعه تخمین عددی ریسک است (به عنوان مثال ترکیب احتمال مورد انتظار و پیامد حوادث احتمالی) مرتبط با یک تجهیز یا عملیات است. در این رویکرد از مجموعه‌ای از ابزار بسیار پیچیده اما تقریبی برای دستیابی به درک ریسک استفاده استفاده میشود [۵]. باید تاکید شود که ارزیابی کمی ریسک باید یک روش تکراری در نظر گرفته شود و حداقل هر ۵ سال یکبار و یا در صورت ایجاد تغییر در شرایط محیط کار بایستی به روز رسانی شود [۳].

روشهای سنتی ارزیابی ریسک که از احتمالات شکست استاتیک استفاده میکنند نمیتوانند تغییرات ریسک را با گذشت زمان نشان دهند. ریسک یک سیستم پیچیده به طور مداوم در حال تغییر است اما روشهای متداول ارزیابی ریسک کمی هیچ گونه تغییری را محاسبه نمیکنند [۶]. ارزیابی کمی ریسک تصویر ریسک را در یک مقطع ثابتی از زمان نشان میدهد که میتواند یک توصیف موقتی یا جزئی از شرایط و مشکلات کلی ایمنی یک صنعت در نظر گرفته شود [۱]. بعلاوه روشهای سنتی ارزیابی ریسک ایستا هستند و توجهی به فعالیتهای روزانه در این روشها نمیشود. بیشتر ارزیابی‌های ریسک در مراحل طراحی و برای اطمینان از انطباق وضعیت صنعت با شرایط مورد انتظار ایمنی انجام میشود و تاثیرات تغییرات عملیات و شرایط محیطی در تغییر ریسک لحاظ نمیگردد. خطاهای انسانی و شبه حوادث از جمله مواردی هستند که در ارزیابی‌های ریسک استاتیک نادیده گرفته میشوند در واقع این روشها فاقد عنصر مهم وایستگی متقابل عملکرد ریسک و زمان هستند[۷]. آموزش، بارکاری، انگیزه برای فرهنگ ایمنی و رویه ها جنبه هایی هستند که ممکن است با تکنیک های مرسوم QRA ، که به طور سنتی بر جنبه های فنی تمرکز می کنند ، نادیده گرفته شوند [۸].

با توجه به آنچه گفته شد برای غلبه بر محدودیت‌های روش‌های سنتی ارزیابی ریسک و بررسی مسائل در یک محیط پویا استفاده از روش ارزیابی ریسک دینامیک توسعه پیدا کرده است.

ارزیابی ریسک دینامیک (DRA)[1]

ارزیابی ریسک دینامیک برای تعریف پیاده سازی فرایند ارزیابی ریسک در یک محیط در حال تغییر استفاده میشود. khan و همکاران هر فرایندی را به دلایل طبیعی رو به زوال میدانند و ارزیابی ریسک پویا را روشی برای بروز رسانی ریسک تخمین زده شده یک فرایند رو به زوال با توجه به عملکرد سیستمهای کنترلی، موانع ایمنی، فعالیتهای تعمیراتی و بازرسی، عوامل انسانی و رویه ها تعریف میکند. در ارزیابی ریسک پویا علاوه بر تمامی مراحلی که در ارزیابی‌های ریسک استاتیک وجود دارد (شامل شناسایی خطر، ارزیابی ریسک و ارزیابی اقدامات کنترلی) پایش و ارزیابی شرایط غیرطبیعی فرایند برای بازنگری ریسک تخمین زده شده نیز انجام میگیرد [۹].

اولین متد کامل ارزیابی ریسک دینامیک برای تجهیزات فرایندی به نام ارزیابی شکست پویا توسط Meel و Seider توسعه داده شد. هدف این رویکرد تخمین احتمال دینامیک توالی حوادث، شامل داده‌های شبه حوادث و رخدادها (پیشروهای توالی حوادث نامیده می‌شوند) همچنین داده‌های زمان واقعی فرایند بود. کلانتری‌نیا و همکاران مکانیسم شکست بیزین را با ارزیابی پیامد ترکیب کردند. متدولوژی‌های مختلفی تلاش کردند تا این رویکرد را با تغییرات جزئی بهبود بخشند [۳]

کلانترنیا و همکاران در سال ۲۰۰۹ اقدام به ارزیابی ریسک دینامیک با استفاده از روش بیزین کردند. در این مطالعه احتمالات درخت واقعه با استفاده از درخت واقعه بروزرسانی گردید. سپس این متدولوژی بر روی مخازن ذخیره مواد شیمیایی خطرناک به عنوان یک مطالعه موردی پیاده‌سازی شده و مقایسه نتایج ارزیابی ریسک کمی و ارزیابی ریسک دینامیک انحراف معناداری در فرکانس نقص در کل طول عمر سیستم را نشان داد[۱۰].

Wang و همکاران روشی را پیشنهاد کردند که احتمال وقوع رویدادهای نامطلوب را توسط پایش متغیرهای کلیدی مختلف فرایند تخمین میزند. این احتمال به طور مداوم با در نظر گرفتن اختلالات زمان واقعی در متغیرها به روز می شود. پیامدها با استفاده از توابع زیان دینامیک که با در نظر گرفتن متغیرهای کلیدی چندگانه توسعه یافته اند برآورد می شوند. در نتیجه، عملکرد عملیاتی فرآیند به صورت پویا در قالب ارزش ریسک کمی (دلار) ارزیابی می‌شود. در این مطالعه برای نظارت بر متغیرهای چندگانه مفهوم زمان باقیمانده معرفی گردیده است. زمان باقیمانده زمانی است که یک متغیر برای رسیدن به مرز بالا یا پایین نیاز دارد. زمان باقی مانده نشان دهنده حاشیه ایمنی است. در متد پیشنهادی پتانسیل وقوع حادثه بر حسب زمان باقی مانده اندازه‌گیری می شود که می توان از آن برای فرمول‌بندی توابع احتمال برای توصیف وقوع حادثه استفاده کرد. با بروزرسانی محاسبه زمان باقیمانده احتمال به صورت دینامیکی بروز میگردد [۱۱].

Adedigba و همکاران برای مدلسازی وابستگی های احتمالی موجود در بین متغیرهای کلیدی فرایندهای عملیاتی برای شناسایی نقص‌ها و پیش بینی احتمال وابسته به زمان انحراف سیستم از الگوریتم بیزی TAN استفاده میکند. احتمال وابسته به زمان انحراف سیستم به دلیل

[1] Dynamic risk assessment

یک رویداد غیرعادی به طور مداوم بر اساس وضعیت فعلی متغیرهای فرآیند مربوطه به روز می شود. رویکرد پیشنهادی انحرافات فرآیند (از شرایط عملیاتی نرمال/هدف) را به احتمال حادثه و تلفات و خسارات احتمالی پیوند می‌دهد[۱۲].

در کنار روشهایی که ذکر شد و سایر روشهای ارزیبی ریسک دینامیک ریسک بارومتر برای غلبه بر محدودیتهای روشهای سنتی و استاتیک ارزیابی ریسک توسعه داده شده است.

ریسک بارومتر[۲]

مرکز عملیات یکپارچه CIO در صنایع نفت گاز به تازگی روش ریسک بارومتر را توسعه داده است. بر اساس نظر Tinmannsvik تمام حوادث علت یکتا و متفاوتی دارند، اما بسیاری از علل اساسی تکراری هستند. و به طور خاص دو مورد از مهمترین مسائل، عدم انجام ارزیابی ریسک در زمان تغییرات و اصلاحات و بازبینی و کنترل ناکافی موانع ایمنی است.

عملیات یکپارچه IO راهکاری برای چالشهای مذکور است. افزایش دستیابی به اطلاعات زمان واقعی و ارائه اطلاعات در هر کجا و در هر زمان مفهوم اساسی است که راه حل های IO بر اساس آن ساخته شده است .بنابراین CIO ریسک بارومتر را با هدف نظارت مداوم بر تغییرات تصویر ریسک و حمایت از تصمیم گیرندگان در عملیات روزانه توسعه داده است [۱۳].

ریسک بارومتر پایش شاخص‌های مرتبط برای ارزیابی مداوم سلامت موانع ایمنی و ارزیابی احتمال شکست آنها در زمان واقعی می‌باشد. برخی از شاخص‌های پایش نه تنها عملکرد فنی موانع بلکه سیستم-های عملیاتی و سازمانی مرتبط را نیز در نظر می‌گیرد. به این ترتیب هدف ریسک بارومتر، گرفتن انحرافات اولیه سازمان است که پتانسیل تسهیل شکست موانع و وقوع حوادث را دارند[۱۴].

استفاده از شاخصها برای ارزیابی و پایش انحرافات اولیه به عنوان راهی برای ارزیابی و کنترل ریسک در روش ریسک بارومتر میباشد. به این ترتیب افزایش ریسک میتواند به سرعت تشخیص داده شده و از حوادث احتمالی جلوگیری شود [۱۵]. برای ارزیابی دینامیک تکرار حوادث دو رویکرد پیشگیرانه و واکنشی می‌تواند مطرح شود ، ریسک بارومتر به عنوان روش پیشگیرانه در بین روشهای ارزیابی ریسک دینامیک مطرح می‌شود [۳]. استفاده از شاخص‌هاست که به ریسک بارومتر ویژگی پیشگیرانه میدهد.

هدف کلی ریسک بارومتر استفاده از داده‌های زمان واقعی وضعیت موانع ایمنی و تصویر اثر آنها بر ریسک کلی است. تعریف و بیان ریسک با استفاده از یک مقیاس نسبی میتواند چالش برانگیز باشد اما تصویر کردن ریسک به صورت یک تصویر گرافیکی میتواند چالشهای سوء تفسیر این مقدار نسبی را بر طرف سازد. با پیاده سازی این روش علاوه بر نمایش ریسک زمان واقعی روند ریسک را میتوان مشاهده کرد که آیا دارای روند مثبت بوده و یا منفی و ریسک فعلی را با گذشته مقایسه نمود [۱۶].

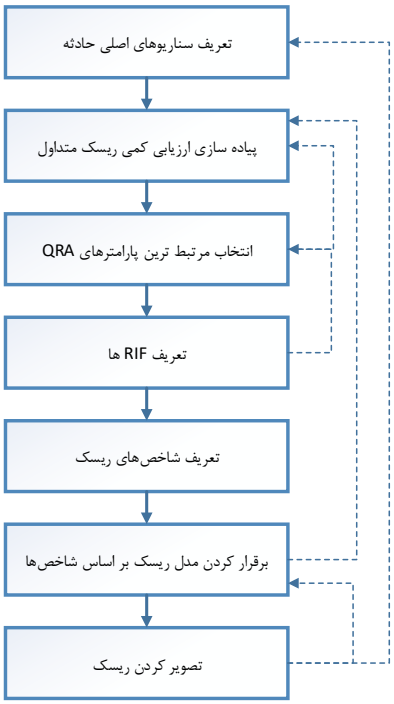
روش انجام کار

روش پیاده سازی ریسک بارومتر در شکل ۱ آمده است.

برای پیاده سازی ریسک بارومتر ۷ مرحله نیاز است که در بندها ۲-۱ الی ۲-۷ توضیح داده شده است.

۲-۱- تعریف سناریوهای اصلی حادثه

در هنگام توسعه بارومتر ریسک سوال مهمی که باید پرسیده شود این است که چه نوع از خطراتی باید مدل شوند و تحت پایش قرار بگیرند. این سوال به صورت اختصاصی به ویژگی های صنایع بستگی دارد و بر اساس الزامات صنایع مشخص میشود که حوادث با چه سطح جزئیاتی بایستی مدل شوند [۱۷].



شکل ۱: فلوچارت پیاده سازی ریسک بارومتر

ارزیابی کمی ریسک (QRA)

ریسک بارومتر دارای دو رویکرد کلی در مدل ریسک است : ۱- رویکرد ریسک نسبی و ۲- رویکرد حساسیت ارزیابی کمی ریسک[۳]. در حالی که رویکرد نسبی ریسک ، از ارزیابی کمی ریسک به روش غیررسمی استفاده میکند و ریسک نسبی را در یک مقیاس استاندارد

[۲] Risk barometer

۳ The QRA sensitive approach

بین ۰ تا ۱۰۰ اندازه گیری میکند ، رویکرد حساسیت ارزیابی کمی ریسک، از ارزیابی ریسک کمی به روش رسمی تر استفاده میکند و تلاش میکند رابطه ۱۰ را به صورت مطلق ارائه دهد.

در رویکرد حساسیت ارزیابی کمی ریسک سهم ریسک موانع شناسایی شده با پارامترهای ارزیابی کمی ریسک در ارتباط است.

با توجه به قدمت استفاده از روش Bow-tie در ارزیابی ریسک‌های فرایندی این روش برای پیاده سازی ارزیابی کمی ریسک مورد استفاده قرار گرفت و با توجه به اینکه ، basic events و موانع با احتمال نقص و موفقیت همراه هستند، این احتمالات بعنوان پارامترهای ارزیابی کمی ریسک شناخته میشوند [۱۸].

تعیین اهمیت نسبی پارامترهای ریسک

برای تعیین اهمیت نسبی پارامترهای ریسک از روش سنجش حساسیت برنبام استفاده شد. روش برنبام روش شناخته شده ای است که سهم نسبی مولفه ها را در قابلیت اطمینان سیستم بیان میکند[۱۹].

تحلیل حساسیت در ارزیابی ریسک بدین معنی است که چگونه نتایج یک محاسبه یا یک مدل با تغییر یکی از مفرضات تغییر میکند.

تعریف RIF

RIFs بر اساس تعریف جنبه‌هایی از سیستم یا فعالیت هستند که بر سطح ریسک آن سیستم یا فعالیت تاثیر میگذارند [۲۰]. با توجه به انتخاب رویکرد حساسیت ارزیابی کمی ریسک برای پیاده سازی ریسک بارومتر RIFs بر یک یا چند پارامتر ارزیابی کمی ریسک تاثیر گذارند بایستی شناسایی شوند.

تعیین شاخصهای اندازه گیری RIFs

شاخص یک متغیر قابل اندازه گیری و یا قابل استفاده است که برای توصیف شرایط یک پدیده یا جنبه ای از واقعیت بکار برده میشود. بنابراین شاخصها تعریف قابل اندازه‌گیری/قابل استفاده از RIFs هستند [۲۱]. هر RIF میتواند شامل مجموعه از شاخصها باشد.

ساخت مدل ریسک با استفاده از شاخصهای موانع

هدف از این مرحله این است تغییرات شاخصها را به تغییر احتمال پارامترهای ریسک و در نتیجه به تغییر ریسک کلی ترجمه کنیم و ارتباط بین شاخصها و ریسک کلی را تعریف کنیم.

اگر R_0 را مقدار ریسک محاسبه شده با روش ارزیابی کمی ریسک در نظر بگیریم و $I^B(i)$ را مقدار اهمیت نسبی پارامترهای ریسک (P_k) که توسط روش سنجش حساسیت برنبام محاسبه شده ، در نظر بگیریم ، با استفاده از سری تیلور مرتبه اول ریسک R را میتوان به صورت معادله (۱) تعریف کرد :

$$R = R_0 + \sum_{i=1}^{i} I^B(i)\Delta p_i = R_0 + \Delta R \qquad (۱)$$

$$IB(t|i) = \frac{\partial R(t)}{\partial pi(t)} \qquad (۲)$$

و در معادله (۱) ، $\Delta P = P_{Kt} - P_{K0}$ که در این تعریف P_{Kt} برابر با مقدار P_K در زمان t در آینده است و P_{K0} مقدار P_K در زمان رفرنس است.

بر اساس معادله (۱) نیاز به محاسبه P_i در زمان t داریم. بنابراین ضروری است ارتباط منطقی بین مقدار یا وضعیت شاخصها با وضعیت RIF ها و به طبع آن پارامترهای ریسک ایجاد کنیم. برای این منظور مراحل زیر را طی شد:

۲-۱-۶- شاخصهای مختلف معمولا نتایج را قالب متفاوتی ارائه میدهند(X_i) . بنابراین برای اینکه بتوانیم از خروجی تمامی شاخصهای تعریف شده استفاده کنیم بایستی از یک رویه واحد بهره ببریم. از یک بازه پیوسته ۱ تا ۶ برای این هدف استفاده مینمائیم. به صورتی که در بهترین حالت شاخص عدد ۶ و در بدترین حالت عدد ۱ را به خود میگیرد.

$$Si = s(X_i) \qquad (۳)$$

۲-۶-۲- همانطور که قبلا ذکر شد هر RIF میتواند توسط یک یا چند شاخص سنجیده شود. ضروری است قبل از محاسبه اثرات تغییر مقدار شاخصها در RIFها وزن شاخص‌های (W_i) زیر مجموعه هر RIF تعیین گردد. جمع وزنی مقدار شاخص‌ها وضعیت RIF ها را در زمان t توسط یک مقدار عددی در بازه ۱ تا ۶ نشان خواهد داد. به صورتی که در بهترین حالت RIF عدد ۱ و در بدترین حالت عدد ۶ را به خود میگیرد.

$$RIF_J = \sum S_i w_i \qquad (۴)$$

۳-۶-۲- مشابه آنچه که در مورد شاخص‌ها گفته شد هر پارامتر ریسک میتواند تحت تاثیر یک یا چند RIF باشد. وزن هر RIF به صورت W_J نشان داده میشود. جمع وزنی مقدار RIF ها وضعیت پارامتر ریسک را در زمان t در یک بازه ۱ تا ۶ نشان میدهد. به صورتی که ۶ بدترین وضعیت پارامتر ریسک و ۱ بهترین وضعیت آن را نشان میدهد. QP_k تاثیر کل RIF ها بر روی پارامتر ریسک k است.

$$QP_K = \sum (RIF)_J W_J \qquad (۵)$$

۴-۶-۲- یکی از چالش برانگیزترین بخشهای ریسک بارومتر تبدیل امتیاز به دست آمده به صورت احتمال پارامتر ریسک است. ضروری است که یک بازه منطقی برای تغییرات احتمال پارامتر ریسک در نظر بگیریم. Vinnem و همکاران در استفاده از مدل RISK-OMIT و تبدیل تاثیر RIF ها بر basic event از درون یابی (هندسی) استفاده نموده اند [۲۲].

تصویر کردن ریسک

یکی از مزایای اصلی و مهم استفاده از روش ریسک بارومتر، ارائه تصویر نهایی ریسک در قالب تصاویر گرافیکی است .اشتراک گذاری تصویر ارزیابی ریسک می تواند ابزار خوبی برای کمک به تصمیم‌گیرندگان باشد.

با استفاده از این روش میتوان روند ریسک، مقایسه ریسک بخش‌های مختلف صنعت، وضعیت ریسک کلی و علل زمینه‌ای وقوع ریسک‌ها را مشاهده نمود. درک بصری از علل تغییرات ریسک میتواند از اولویت‌بندی کاهش خطرات حمایت کند [۲۳].

مطالعه موردی

بر اساس مطالعه احمدی و همکاران اتفاق های اصلی رخ داده بر روی مخازن اتمسفریک سقف شناور خارجی بر اساس حوادث تجزیه و تحلیل شده شش اتفاق اصلی شامل سرریز شدن مخزن، ریختن سیال بر روی سقف و آتش‌سوزی آن، آتش‌سوزی ناحیه نشت بند، غرق شدن سقف، آتش‌سوزی ناحیه دایک، پارگی مخزن و نشت از بدنه و لوله ورودی/خروجی مخزن می باشد. در صورت وجود منبع احتراق، سر ریز شدن مخزن منجر به انفجار ابر بخار (VCE)[4]یا انفجار ابر بخار محدود شده (UVCE)[5]و در نتیجه آتشسوزی استخری تمام سطح می‌شود [۲۴].

ارزیابی کمی ریسک

دیاگرام بوتای بدلیل قابلیت نمایش موانع پیشگیرانه و واکنشی در کنار basic eventها و top eventها میتواند برای استفاده در روش ریسک بارومتر بسیار مناسب باشد. در این مطالعه از بین سناریوهای شناسایی شده در بخش ۳-۱ سناریوی حریق ناحیه نشت بند برای پیاده سازی ریسک بارومتر مورد استفاده قرار گرفت.

اشکال ۲ و ۳ تصاویر درخت خطا و درخت رویداد مربوط به این سناریو را نشان میدهند.

جدول ۱ احتمال وقوع هریک از پیامدهای ممکن درخت رویداد را نشان میدهد.

جدول ۱: احتمال وقوع پیامدهای درخت رویداد

پیامد	احتمال (تعداد /سال)
اطفا	۲×۱۰^{-۴}
حریق تمام سطح	$۲,۰۴۷\times۱۰^{-۵}$
انتقال حریق به مخازن مجاور و دومینو	$۲,۲۹\times۱۰^{-۶}$

تعیین اهمیت نسبی پارامترهای ریسک

برای تعیین اهمیت نسبی پارامترهای ریسک از روش آنالیز حساسیت برنبام استفاده گردید و ۵ پارامتر دارای بیشترین اهمیت در ریسک نهایی به ترتیب ۱) نقص و خطا در نشت‌بند، ۲)کار گرم، ۳) تجهیزات الکتریکی محافظت نشده، ۴)حوادث دومینویی، و ۵) زلزله تشخیص داده شدند.

تعریف فاکتورهای تاثیرگذار بر ریسک (RIF)

RIF عامل یا شرایطی است که ریسک را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این مطالعه از فاکتورهای تاثیرگذار بر ریسک مطالعه احمدی و همکاران استفاده گردیده است.

بر اساس این مطالعه کل فاکتورهای تاثیرگذار بر ریسک در چهار دسته قرار میگیرند. جدول۲ فاکتورهای تاثیرگذار بر ریسک استخراج شده از مطالعه مذکور و وزن آنها را بر اساس همین مطالعه نشان می‌دهد [۲۴].

برای تعیین عوامل تاثیر گذار در ریسک پارامترهای ریسک در چهار گروه ۱- نقص عملکرد تجهیزات، ۲-عملکرد نفرات تعمیراتی، ۳- عملکرد نفرات بهره‌بردار، ۴- عملکرد آتش نشان‌ها قرار میگیرند. که با توجه به نتایج مرحله قبل پارامترهای ریسک شناسایی‌شده در دو گروه گروه عملکرد نفرات تعمیرات و نقص عملکرد تجهیزات قرار میگیرند. RIF های پارامترهای شناسایی شده در بر اساس جدول ۲ در شکل ۴ نشان داده شده است.

جدول۲: فاکتورهای تاثیرگذار بر ریسک

طبقه	عوامل تاثیرگذار بر ریسک	وزن
عملکرد نفرات تعمیرات	شناسایی خطر	۰,۲۴۵
	ارتباطات	۰,۱۰۱
	صلاحیت	۰,۳۹۵
	روش اجرایی	۰,۱۸۵
	مجوز کار	۰,۰۷۶
نقص و عملکرد تجهیزات	شناسایی خطر	۰,۱۴۲
	تعمیر و نگهداری	۰,۲۹۹
	طراحی	۰,۲۷۳
	مدیریت تغییر	۰,۱۱۱
	بازرسی فنی	۰,۱۷۴

تعریف شاخص‌های مرتبط با فاکتورهای تاثیرگذار بر ریسک

برای هریک از RIFها بایستی یک یا بیشتر شاخص انتخاب شود. بدین منظور شاخص‌های انتخاب شده اولیه در مطالعه احمدی و همکاران [۲۴] مورد استفاده قرار گرفت. شاخص‌های مرتبط با فاکتورهای تاثیرگذار بر پارامترهای ریسک در جدول ۳ آمده است.

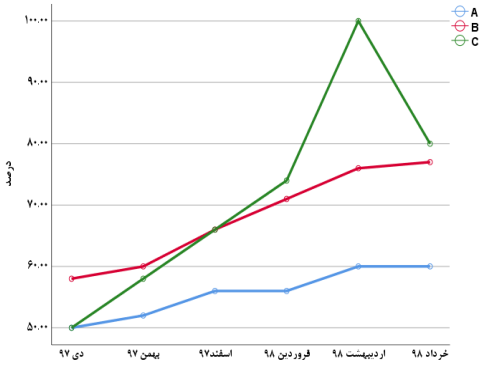
[4] Vapor Cloud Explosion (CVE)
[5] Unconfined Vapor Cloud Explosion (UCVE)

جدول ۳: شاخصهای مرتبط با RIF ها

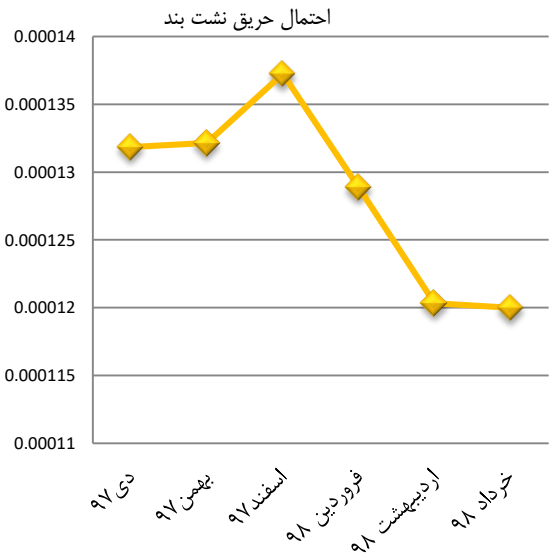
RIF	شاخص	وزن
شناسایی خطر	درصد اقدامات اصلاحی (پیشنهادات) ارزیابی ریسک به کار گرفته شده به کل پیشنهادات ارائه شده توسط ارزیابی ریسک	۰,۵۳
	درصد پیشنهادات ارزیابی ریسک انجام شده به کل پیشنهادات برنامه‌ریزی شده برای انجام (در بازه زمانی مورد نظر)	۰,۴۷
تعمیر و نگهداری	درصد وظایف /اقدامات تعمیر و نگهداری تکمیل شده بر اساس برنامه (در بازه زمانی مشخص)	۰,۳۴
	درصد عناصر/ تجهیزات حیاتی ایمنی که بعد از تعمیرات، از نظر کارکرد در شرایط خوبی بودند	۰,۳۷
	درصد مجموع زمانی که تاسیسات با عناصر یا تجهیزات ایمنی حیاتی ناقص و معیوب در حال کار است بر کل مدت زمانی که تاسیسات در حال کار است	۰,۲۹
طراحی	درصد تجهیزات فرآیندی و موارد حیاتی ایمنی که در انطباق با کدها و استانداردها، طراحی شده‌اند	۱
مدیریت تغییر	درصد اقدامات مربوط به تغییر تاسیسات که قبل از تغییر، ارزیابی ریسک کافی انجام شده است.	۰,۵
	درصد اقدامات HAZOP مرتبط با تغییر که کامل شده‌اند	۰,۵
بازرسی	درصد وظایف/اقدامات بازرسی فنی تکمیل شده بر اساس برنامه (در بازه زمانی مشخص)	۰,۲۴
	درصد تست‌های عملکرد تجهیزات هشداردهنده و تجهیزات ابزار دقیق (برای مثال سطح سنج مخزن) بر اساس برنامه	۰,۲۵
	درصد تست عملکرد سیستم ارت و همبندی مخازن بر اساس برنامه	۰,۲۴
	درصد تجهیزات ایمنی حیاتی و هشدار دهنده‌ها که به صورت صحیح شرایط فرآیند را نشان می‌دهند.	۰,۲۶
ارتباطات	درصد ارتباطات موفق بین نفرات بهره‌بردار و تعمیرات قبل و بعد از فعالیت و کارهای تعمیراتی و ایزولاسیون فرآیندی	۰,۴۹
	درصد درس‌آموزی از حوادث مربوط به مخازن به کل حوادث مخازن اتفاق افتاده؟	۰,۵۱
صلاحیت	درصد افرادی که برای وظایف تعیین شده خود آموزش‌های تخصصی ایمنی دیده‌اند.	۰,۲۷
	درصد افرادی که با موفقیت آموزش‌های تخصصی تعیین شده را گذرانده‌اند	۰,۲۴
	متوسط تجربه‌کاری نفرات بهره‌برداری/ تعمیرات و نگهداری مرتبط با فرآیند (مخازن)	۰,۲۴
	درصد دوره‌های ایمنی بازآموزی به کل دوره‌های برنامه‌ریزی شده (برای بازه زمانی مشخص)	۰,۲۵
روش اجرایی	درصد روش‌های اجرایی بازبینی و بروز شده مربوط به بهره‌برداری /تعمیر و نگهداری مخازن به تعداد روش‌های اجرایی بهره‌برداری /تعمیر و نگهداری مخازن که نیاز به بازبینی و بروز شدن داشتند (در بازه زمانی مورد نظر)	۰,۴۸
	درصدی از وظایف حیاتی ایمنی که برای آن، روش اجرایی بهره برداری مخازن/تعمیر و نگهداری مخازن مکتوب با دامنه کاربرد صحیح و با جزئیات کافی وجود دارد.	۰,۵۱
مجوز کار	درصد فعالیت‌های انجام شده طبق شرایط درج شده در مجوز کار	۰,۵۱
	درصد مجوز کارهای صادر شده‌ای که به وضوح، وظایف، خطرات، ریسک‌های درگیر و اقدامات کنترلی که باید به کار گرفته شوند را تعیین کرده‌اند.	۰,۴۹

برقرار کردن مدل ریسک و تصویر کردن ریسک

با استفاده از معادله‌های ۱ تا ۵ معادله ریسک ساخته میشود. شکل‌های ۵ و ۶ تغییرات ۳ مورد از شاخص‌ها و تغییرات احتمال حریق ناحیه نشت بند را در همان بازه زمانی نشان میدهد.



شکل ۵ روند شاخص‌های A, B,C از دی ماه ۹۷ تا خرداد ۹۸- A= شاخص "درصد فعالیت‌های انجام شده طبق شرایط درج شده در مجوز کار" - B= شاخص "درصد مجوز کارهای صادر شده‌ای که به وضوح، وظایف، خطرات، ریسک‌های درگیر و اقدامات کنترلی که باید به کار گرفته شوند را تعیین کرده‌اند" -C= مربوط به شاخص" درصد درس‌آموزی از حوادث مربوط به مخازن به کل حوادث مخازن اتفاق افتاده؟"



شکل ۶: روند تغییر احتمال حریق نشت بند در بازه زمانی ۶ ماهه

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

این مطالعه پتانسیل مدیریت ریسک پویا را در صنایع فرایندی نشان میدهد. صنایعی با درهم تنیدگی و پیچیدگی‌های متاثر از عوامل مختلف درون زا و برون زا دارای ریسکهای متغییر با زمان هستند و کلیه اقدامات و تصمیم گیری‌های خرد و کلان در ریسک صنعت تاثیر گذار خواهد بود. شناسایی عوامل تاثیر گذار بر ریسک و برنامه ریزی و اولویت بندی جهت کنترل آنها میتواند روند مدیریت ریسک را تحت تاثیر قرار دهد.

پیاده سازی ریسک بارومتر بر یکی از سناریوهای ریسک حریق مخازن نشان داد که چگونه تغییرات شاخصها در یک بازه کوتاه مدت منجر به تغییر احتمال وقوع حریق در مخازن سقف شناور خواهد شد. با تجه به اینکه معمولا ارزیابی‌های ریسک در بازه های زمانی ۱ تا ۵ ساله بروز میشوند این مطالعه نشان داد چگونه میتوان با بهبود شاخص‌های موثر در یک بازه زمانی ۶ ماهه از احتمال وقوع حریق و پیامدهای بزرگ ناشی از آن کاست. استفاده از روش‌های ارزیابی ریسک پویا افق‌های جدیدی در مسیر بهبود شرایط ایمنی صنایع پرخطر را به نمایش میگذارند.

مراجع

[1] V. Villa., et al., Towards dynamic risk analysis: A review of the risk assessment approach and its limitations in the chemical process industry. Safety science. 89: p. 77-93, 2016.

[2] H.J., Pasman, Risk analysis and control for industrial processes-gas ,oil and chemicals: a system perspective for assessing and avoiding low-probability, high-consequence events, Butterworth-Heinemann, 2015.

[3] V.,Villa, Paltrinieri, N., Khan, F. and Cozzani, V.A short overview of risk analysis background and recent developments. Dynamic Risk Analysis in the Chemical and Petroleum Industry, pp.3-12, 2016.

[4] N.,Paltrinieri, et al., Dynamic approach to risk management: Application to the Hoeganaes metal dust accidents. Process Safety and Environmental Protection. 92(6): p. 669-679 , 2014.

[5] J.Arendt and D. Lorenzo, Evaluating process safety in the chemical industry. A user's guide to quantitative risk analysis. CCPS, 2000.

[6] X. Meng, et al., Dynamic quantitative risk assessment of accidents induced by leakage on offshore platforms using DEMATEL-BN. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. 11(1): p. 22-32. 2019.

[7] V.Villa, N. Paltrinieri, and V. Cozzani, Overview on dynamic approaches to risk management in process facilities. Chemical Engineering Transactions. 43: p. 2497-2502. 2015.

[8] M.Bucelli, N. Paltrinieri, and G. Landucci, Integrated risk assessment for oil and gas installations in sensitive areas. Ocean Engineering. 150: p–390-377. 2018.

[9] F.Khan, et al. "Dynamic risk management: a contemporary approach to process safety management." Current opinion in chemical engineering 14: 9-17. 2016.

[10] M.Kalantarnia, , F. Khan, and K. Hawboldt, Dynamic risk assessment using failure assessment and Bayesian theory. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 22(5), pp.600-606; 2009.

[11] H. Wanget al. "Dynamic quantitative) operational risk assessment of chemical processes." Chemical Engineering Science 142: 62-78; 2016.

[12] SA. Adedigba, F. Khan, and M. Yang. "An integrated approach for dynamic economic risk assessment of process systems." Process Safety and Environmental Protection 116: 312-323; 2018.

[13] N.Paltrinieri, et al. Towards a dynamic risk and barrier assessment in an IO context. in Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon-Proceedings of the European Safety and Reliability Conference, ESREL. 2013.

[14] G.Scarponi, et al., Reactive and proactive approaches: tutorials and example, in Dynamic Risk Analysis in the Chemical and Petroleum Industry. Elsevier. p. 75-92; 2017

[15] N.Paltrinieri, and G. Reniers, Dynamic risk analysis for Seveso sites. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 49: p. 111-119; 2017

[16] N.Edwin, , N. Paltrinieri, and T. Østerlie, Risk Metrics and Dynamic Risk Visualization, in Dynamic Risk Analysis in the Chemical and Petroleum Industry. Elsevier. p. 151-165; 2017.

[17] G.Scarponi, G., et al., Reactive and proactive approaches: tutorials and example, in Dynamic Risk Analysis in the Chemical and Petroleum Industry. Elsevier. p. 75-92;2016

[18] S. Hauge, , et al., Handbook for monitoring of barrier status and associated risk in the operational phase, the risk barometer approach. SINTEF F27045. Trondheim, Norway, 2015.

[19] Q. Yao, Birnbaum Importance Patterns and Their Applications in the Component Assignment Problem. 2011.

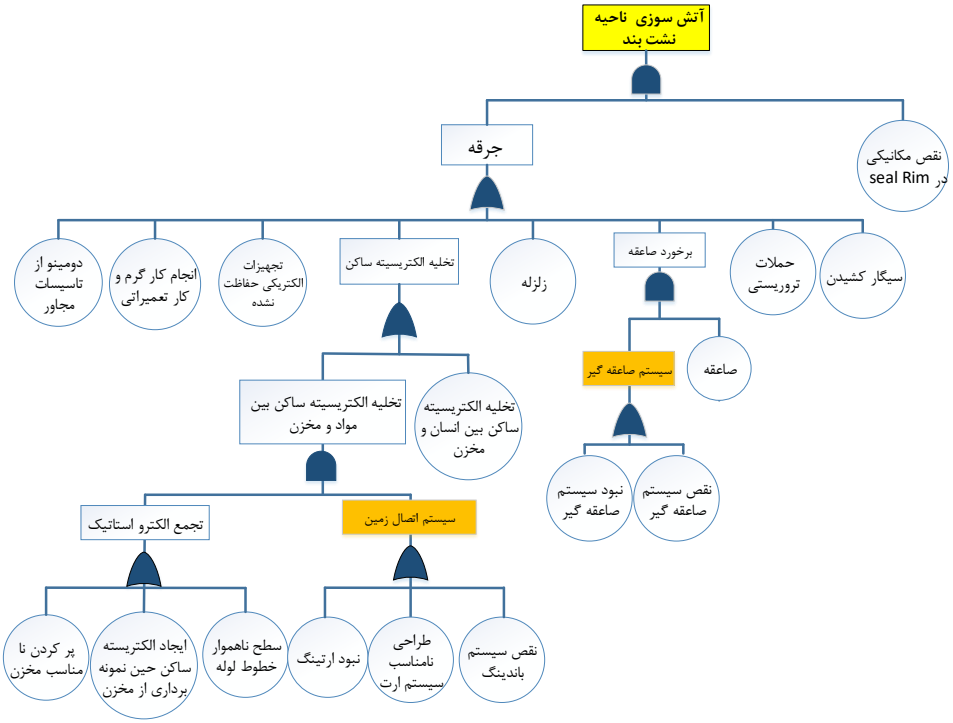
[20] V. Villa, , Extension of Quantitative Risk Assessment to the Analysis of External Hazard Factors in the Chemical and Process Industry. 2017.

[21] K.Øien, Risk indicators as a tool for risk control. Reliability Engineering & System Safety. 74(2): p. 129-145; 2001

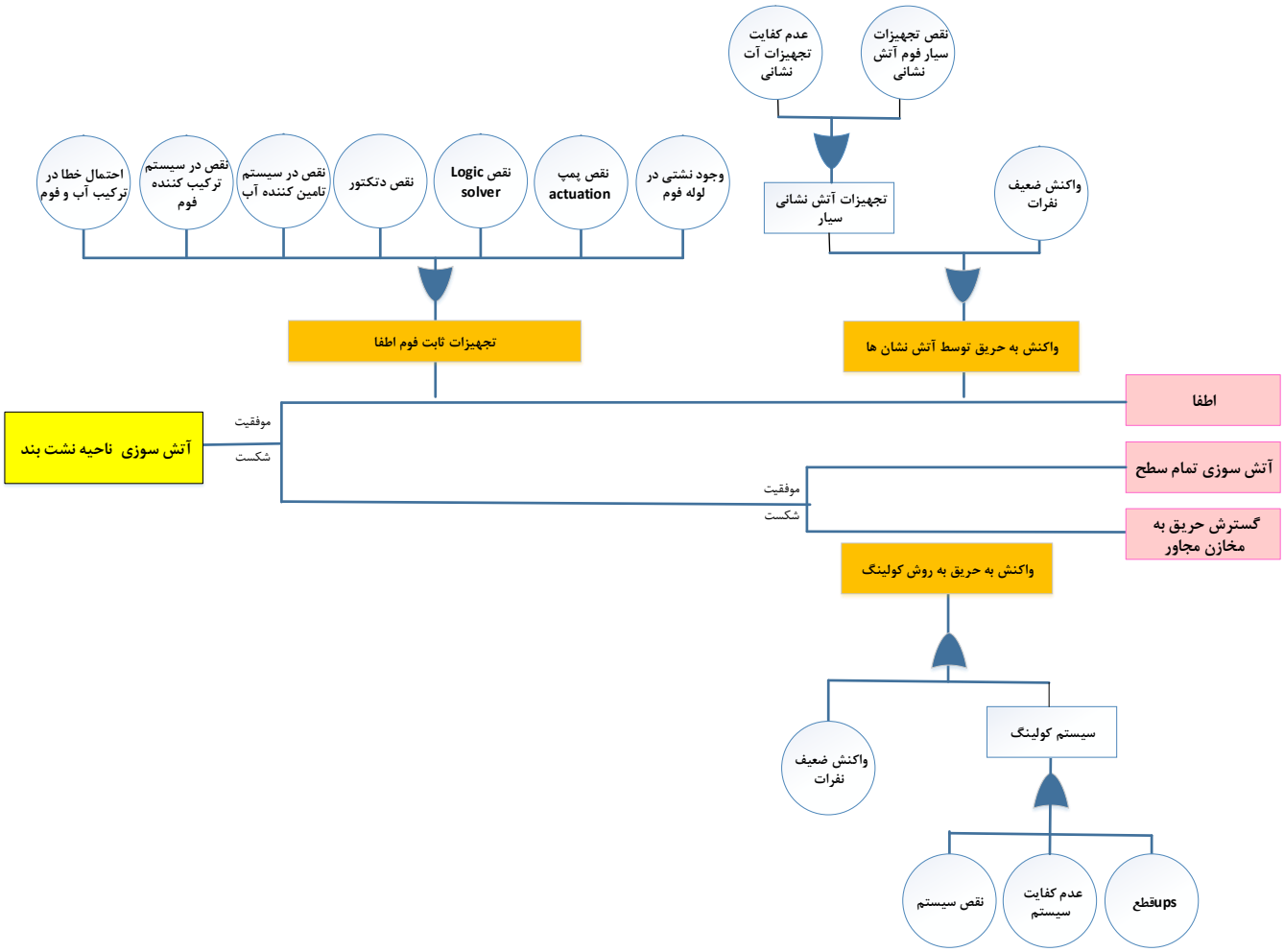
[22] J.Vinnem, , et al., Risk modelling of maintenance work on major process equipment on offshore petroleum installations. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 25(2): p. 274-292; 2012.

[23] N. Edwin, N. Paltrinieri, and T. Østerlie, Risk Metrics and Dynamic Risk Visualization, in Dynamic Risk Analysis in the Chemical and Petroleum Industry. Elsevier. p. 151-165;2016.

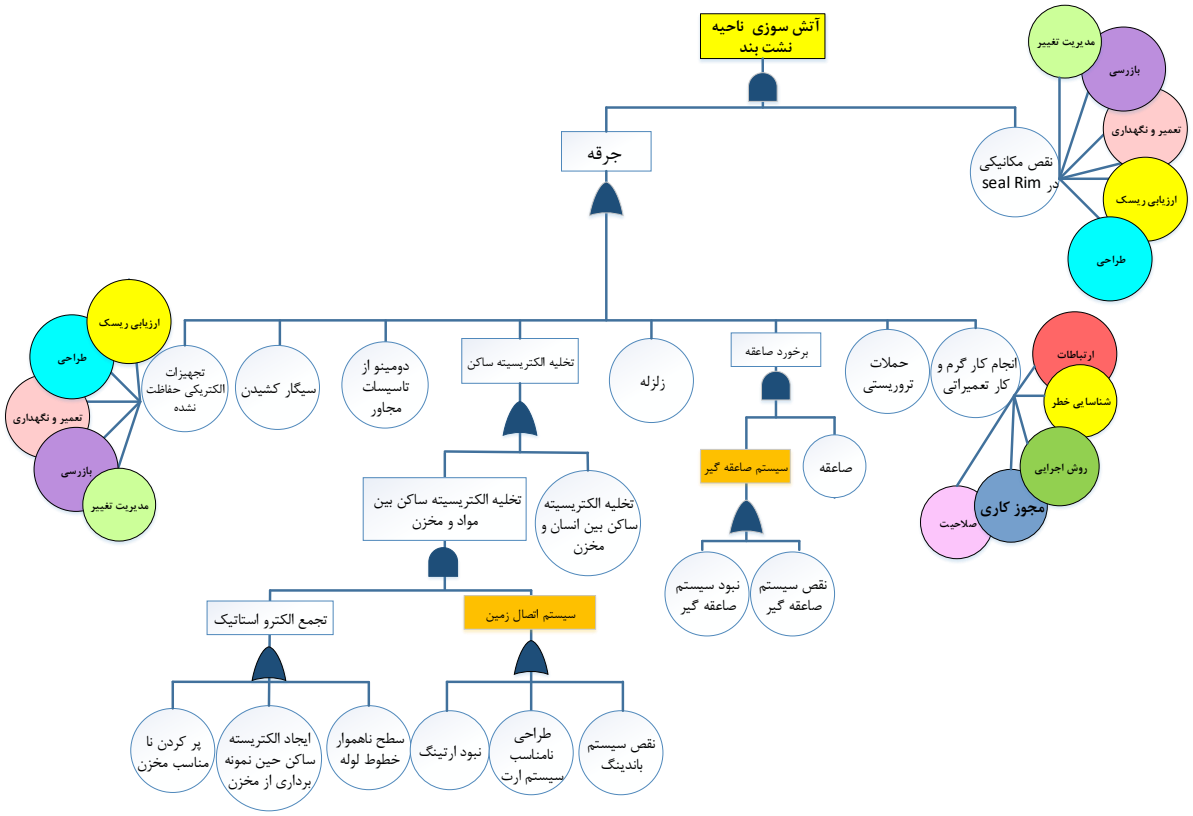
[24] O. Ahmadi, S.B. Mortazavi, Mahabadi, H. A., & M. Hosseinpouri . Development of a dynamic quantitative risk assessment methodology using fuzzy DEMATEL-BN and leading indicators. Process Safety and Environmental Protection, 142, 15-44; 2020



شکل ۲: نمودار درخت خطا سناریوی حریق نشت بند



شکل ۳: درخت رویداد سناریو حریق نشت بند



شکل۴: فاکتورهای تاثیرگذار بر پارامترهای ریسک سناریو حریق ناحیه نشت بند