استاندارد بین المللی

ویرایش نهایی

IEC/DFIS
31010

مدیریت ریسک ـــــ تکنیک‌های ارزیابی ریسک

شماره منبع

IEC/FDIS 31010:2009(E)

فهرست

کمیسیون بین المللی علوم الکترونیک

مدیریت ریسک – تکنیک‌های ارزیابی ریسک

پیشگفتار

۱) کمیته بین‌المللی برق و الکترونیک (IEC) سازمان جهانی برای استانداردسازی است و متشکل از کلیه کمیته‌های ملی برق و الکترونیک (کمیته‌های ملی IEC) است. هدف IEC ترویج همکاری‌های بین‌المللی در کلیه مسائل مربوط به استانداردسازی زمینه‌های برق و الکترونیک است. برای این هدف و دیگر فعالیت‌های دیگر، IEC استانداردهای بین‌المللی، مشخصات فنی، گزارشات فنی، مشخصات دردسترس عموم (PAS) و راهنماها را منتشر می‌کند. آماده‌سازی آن‌ها به کمیته‌های فنی سپرده می‌شود؛ هر کمیته ملی IEC که به موضوع علاقه دارد ممکن است در کار مقدماتی شرکت کند. همچنین سازمان‌های بین‌المللی، دولتی و غیردولتی که با IEC رابطه دارند در این آماده‌سازی شرکت می‌کنند. IEC همکاری نزدیکی با سازمان بین‌المللی استاندارد سازی (ISO) مطابق شرایط تعیین شده مورد توافق بین دو سازمان دارد.

۲) تصمیمات یا توافقات رسمی IEC در بیان مسائل فنی، تا جای ممکن، اجماع بین‌المللی از نظرات در موضوعات مرتبط است که هر کمیته فنی از کلیه کمیته‌های ملی IEC علاقه‌مند بیان می‌کند.

۳) انتشارات IEC حالت پیشنهادی برای استفاده‌های بین‌المللی دارد و توسط کلیه کمیته‌های فنی IEC در این سطح پذیرفته شده است. با کلیه تلاش‌های خردمندانه که برای اطمینان از دقت محتوای فنی انتشارات IEC صورت می‌گیرد، IEC نمی‌تواند برای روشی که این‌ها استفاده می‌شود یا تفسیری که توسط هر کاربر هدف از آن‌ها دارد هیچ مسئولیتی را به عهده بگیرد.

۴) به منظور ترویج یکسان‌سازی، کمیته‌های ملی IEC توافق کرده‌اند تا بیشترین حد ممکن در انتشارات ملی و ناحیه‌ای خود انتشارات IEC را ترویج و اجرا کنند. هر تفاوت بین انتشارات IEC و انتشارات ملی و ناحیه‌ای مشابه باید به وضوح در آینده بیان شود.

۵) IEC هیچ رویه اعلام شده ای برای بیان قوانین ندارد و نمی‌تواند هیچ مسئولیتی برای هر وسیله‌ای که اعلام کرده است با انتشارات IEC مطابق است داشته باشد.

۶) کلیه استفاده‌کنندگان باید از داشتن آخرین ویرایش این سند اطمینان داشته باشند.

۷) هیچ مسئولیت قانونی متوجه IEC یا سردبیر، کارمندان، خدمه‌ها یا موسسه‌ها شامل متخصصان خصوصی و اعضای کمیته‌های فنی یا کمیته‌های ملی IEC برای هر جراحت شخص، خسارت مالی یا دیگر خسارات با هر ماهیتی، مستقیم یا غیر مستقیم، یا برای هزینه‌ها (شامل قیمت‌های قانونی) و پرداخت‌ها ناشی از خروج سند و استفاده‌ها و ارتباطات با این سند یا هر سند IEC ، نیست.

۸) به مراجع نام‌برده شده در سند توجه کنید. استفاده از این اسناد مرجع برای اجرا صحیح این سند مفید و مهم است.

۹) توجه کنید که ممکن است بعضی از اجزای این سند IEC دارای موضوع حق اختراع باشد. IEC هیچ مسئولیتی برای شناسایی حق اختراع در نظر نمی‌گیرد.

استاندارد بین‌المللی ISO/IEC 31010 توسط کمیته فنی IEC شماره 56 آماده شده است:

همکاری مشترک با گروه کاری "مدیریت ریسک" ISO TMB داشته است.

متن این استاندارد بر پایه اسناد زیر است:

FDIS	Rapport de vote
56/xx/FDIS	56/xx/RVD

اطلاع کامل از رای‌گیری برای این استاندارد را می‌توان در گزارش رای‌گیری شامل جدول بالا پیدا کرد.

این سند مطابق ساختارقسمت دوم ISO/IEC تهیه شده است.

کمیته تصمیم گرفته است تا محتوای این سند بدون تغییرات باقی بماند تا زمانی که در درگاه IEC تحت عنوان "http://webstore.iec.ch" که داده‌هایی درباره مشخصات انتشارات در مورد آن اعلام می‌شود. در این تاریخ، سند ممکن است:

- بازتایید شود؛
- از اعتبار خارج شود؛
- با ویرایش اطلاحی جایگزین شود؛
- اطلاح شود.

مقدمه

کلیه سازمان‌ها با هر نوع و اندازه‌ای با طیف گسترده‌ای از ریسک‌ها مواجه‌اند که ممکن است در تحقق اهداف آن‌ها اثرگذار باشند.

این اهداف ممکن است مرتبط با طیفی از فعالیت‌های سازمان، از طرح‌های استراتژیک تا فعالیت‌های عملیاتی، فرآیندها و پروژه‌ها، و بازتابی در شرایط اجتماعی، محیطی، فنی، ایمنی و امنیتی، تجاری، تدابیر مالی و اقتصادی همانند اثرات اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و اعتباری باشند.

کلیه فعالیت‌های سازمان شامل ریسک است که باید مدیریت شود. فرآیند مدیریت ریسک با محاسبه عدم‌اطمینان و احتمال پیشامدها یا شرایط (خواسته یا ناخواسته) آینده و اثرات آن‌ها بر اهداف مورد توافق، به تصمیم‌گیری کمک می‌کند.

مدیریت ریسک شامل استفاده از روش‌های سیستماتیک و منطقی برای

- مشاوره و اطلاع‌رسانی در طول فرآیند؛
- زمینه‌سازی برای شناسایی، تحلیل، ارزشیابی، درمان ریسک در ارتباط با هر فعالیت، فرآیند، عملکرد یا محصول؛
- نظارت و بررسی ریسک‌ها؛
- گزارش و ثبت نتایج بصورت مناسب است.

ارزیابی ریسک قسمتی از مدیریت ریسک است که فرآیند ساختاریافته‌ای را برای شناسایی چگونگی تحت تاثیر قرار گرفتن اهداف، و تحلیل ریسک با وجود پیامدها و احتمال آن‌ها، فراهم می‌آورد قبل از این‌که، در مورد نیاز به درمان بیشتر تصمیم‌گیری شود.

ارزیابی ریسک تلاش می‌کند تا به سوالات اساسی زیر پاسخ دهد:

- چه اتفاقی می‌تواند بیافتد و چرا (توسط شناسایی ریسک)؟
- پیامدهای آن چیست؟
- احتمالات وقوع آن‌ها در آینده چیست؟
- آیا عواملی برای تسکین پیامدهای ریسک یا کاهش احتمال ریسک وجود دارد؟

آیا سطح ریسک قابل‌تحمل یا قابل‌پذیرش است و نیاز به درمان بیشتر وجود دارد؟ این استاندارد تهیه شده است تا شیوه‌های مناسب موجود در انتخاب و استفاده از تکنیک‌های ارزیابی ریسک را منعکس نماید، و به مفاهیم جدید یا در حال تحول که به سطح رضایت‌بخشی در مجامع حرفه‌ای نرسیده‌اند، اشاره‌ای نمی‌کند.

این استاندارد دارای ماهیت عمومی است، بنابراین راهنمایی‌هایی در بسیاری از صنایع و انواع سیستم‌ها دارد. ممکن است استانداردهای خاص دیگری در این صنایع موجود باشد که روش و سطح ارزیابی در کاربری مخصوص با آن‌ها ترجیح داشته باشد. اگر آن استانداردها با این استاندارد مطابقت و همگرایی داشته باشند، استانداردهای خاص عموماً می‌تواند کافی باشد.

مدیریت ریسک – تکنیک‌های ارزیابی ریسک

۱ محدوده

این استاندارد بین‌المللی استانداردی پشتیبان برای ISO 31000 است و راهنمایی برای انتخاب و استفاده از تکنیک‌های سیستماتیک ارزیابی ریسک فراهم می‌کند.

ارزیابی ریسک انجام شده مطابق این استاندارد به سایر فعالیت‌های مدیریت ریسک کمک می‌کند.

کاربرد طیفی از تکنیک‌هایی که معرفی شده‌اند، با مراجع مخصوص استانداردهای بین‌المللی دیگر است و مفاهیم و کاربردهای تکنیک با جزئیات بیشتری توضیح داده شده است.

این استاندارد برای ارائه گواهینامه، استفاده قانون‌گذاری یا استفاده قراردادی تهیه نشده است.

این استاندارد معیارهای مخصوصی برای شناخت نیازهای تحلیل ریسک ارائه نمی‌دهد و مخصوص نوعی از تحلیل ریسک، برای کابری خاصی نیست.

این استاندارد کلیه تکنیک‌ها را در بر نمی‌گیرد، و حذف تکنیکی از این استاندارد به معنای بی‌ارزش بودن آن تکنیک نیست. واقعیت آن است که روشی که برای شرایط مخصوصی کاربرد دارد، به معنای آن نیست که آن روش لزوماً باید اجرایی باشد.

توجه این استاندارد به طور خاص با ایمنی سروکار ندارد. استاندارد مدیریت ریسک عمومی است و هر مرجعی برای ایمنی بصورت محض ماهیت اطلاعاتی دارد . راهنما برای آشنایی با جنبه‌های ایمنی در استاندارد IEC در ISO/IEC 51 آمده است .

۲ منابع اصلی

اسناد مرجع زیر برای استفاده در این سند ضروری هستند. برای منابع تاریخ‌دار، تنها ویرایش ذکر شده استفاده می‌شود. برای منابع غیر زمان‌دار ، ویرایش نهایی اسناد (دارای اصلاحات) استفاده می‌شود.

ISO/IEC Guide 73، مدیریت ریسک – واژگان – راهنمایی برای استفاده در استانداردها

ISO/FDIS 31000، مدیریت ریسک – اصول و رهنمودها

۳ تعاریف و اصطلاحات

برای اهداف این سند، تعاریف و اصطلاحات ISO/IEC Guide 73 استفاده می‌شود.

۴ مفاهیم ارزیابی ریسک

۱.۴ هدف و مزایا

هدف ارزیابی ریسک فراهم کردن اطلاعاتی بر اساس شواهد و تحلیل برای تصمیم‌گیری در مورد درمان ریسک و انتخاب گزینه‌ها است.

بعضی از مزایای اصلی ارزیابی ریسک شامل:

- درک ریسک و تاثیر بالقوه آن بر اهداف؛
- فراهم کردن اطلاعات برای تصمیم‌گیران؛
- منجر به درک ریسک، به منظور کمک برای انتخاب بین گزینه‌های درمان می‌شود؛
- شناسایی مهمترین شرکت‌کنندگان در ریسک و لینک‌های ضعیف در سیستم یا سازمان؛

- مقایسه ریسک در سیستم‌ها، تکنولوژی‌ها و رویکردهای جایگزین؛
- ارتباط بین ریسک‌ها و عدم‌اطمینان؛
- پشتیبانی با تعیین اولویت‌ها؛
- کمک در جهت پیشگیری از حادثه بر پایه تحقیقات در مورد اتفاقاتی که ممکن است رخ دهد؛
- انتخاب حالات مختلف درمان ریسک؛
- آشنایی با الزامات قانونی؛
- تهیه اطلاعاتی که به ارزشیابی پذیرش ریسک‌ها در مقایسه با معیارهای از پیش تعریف شده، کمک کند؛
- ارزیابی ریسک برای دفع مرحله انتهایی.

۲.۴ ارزیابی ریسک و چارچوب مدیریت ریسک

در این استاندارد فرض بر آن است که ارزیابی ریسک در چارچوب و فرآیند مدیریت ریسک تشریح شده در ISO 31000 انجام می‌پذیرد.

چارچوب مدیریت ریسک سیاست‌ها، رویه و ترتیبات سازمانی را فراهم می‌کند که مدیریت ریسک را در کلیه سطوح سازمان در بر می‌گیرد.

به عنوان بخشی از این چارچوب، سازمان باید سیاست یا استراتژی داشته باشد تا برای این‌که چه زمانی و چگونه ریسک‌ها باید مورد ارزیابی قرار بگیرند، تصمیم‌گیری کند.

به طور خاص ارزیابی ریسک در خصوص موارد زیر واضح باشد:

- زمینه‌ها و اهداف سازماندهی؛
- اندازه و نوع ریسک‌هایی که قابل‌تحمل هستند و چگونگی این که ریسک‌های غیرقابل‌پذیرش درمان شوند؛
- چگونه ارزیابی ریسک با فرآیند سازمانی یکپارچه گردد؛
- شیوه‌ها و روش‌هایی که برای ارزیابی ریسک استفاده می‌شوند و سهم آن‌ها در فرآیند مدیریت ریسک؛
- پاسخگویی، مسئولیت و اختیارات برای شکل‌دادن‌ارزیابی ریسک؛
- منابع دردسترس برای انجام ارزیابی ریسک؛
- چگونگی گزارش و بررسی ارزیابی ریسک.

۳.۴ ارزیابی ریسک و فرآیند مدیریت ریسک

۱.۳.۴ کلیات

ارزیابی ریسک جزء عناصر اصلی فرآیند مدیریت ریسک است که در ISO 31000 تعریف شده است وشامل اجزا زیر است:

- اطلاع‌رسانی و مشاوره؛
- زمینه‌سازی؛
- ارزیابی ریسک (شامل شناسایی ریسک، تحلیل ریسک، ارزشیابی ریسک)؛
- درمان ریسک؛
- نظارت و بررسی.

ارزیابی ریسک فعالیتی مستقل نیست و باید کاملاً با قسمت‌های دیگر فرآیند مدیریت ریسک یکپارچه باشد.

۲.۳.۴ اطلاع‌رسانی و مشاوره

ارزیابی ریسک موفق وابسته به ارتباط و مشاوره موثّر با سهامداران و ذینفعان است.

درگیر کردن سهامداران و ذینفعان در فرآیند مدیریت ریسک به موارد زیر کمک می‌کند:

- ایجاد و توسعه طرح ارتباطی؛
- تعریف زمینه‌ها بصورت مناسب؛
- اطمینان از این که منافع سهامداران درک و لحاظ شده است؛
- گردآوری زمینه‌های مختلفی از تخصص برای شناسایی و تحلیل ریسک؛
- اطمینان از این که دیدگاه‌های مختلف بصورت مناسب در ارزشیابی ریسک لحاظ شده است؛
- اطمینان از این که ریسک به اندازه کافی شناسایی شده است؛
- پشتیبانی و تایید طرح درمانی ریسک.

ذینفعان باید در فرآیند ارزیابی ریسک همراه با نظام مدیریتی دیگر شامل تغییرات مدیریت، مدیریت برنامه و پروژه و همچنین مدیریت مالی شرکت داشته باشند.

۳.۳.۴ زمینه‌سازی

زمینه‌سازی پارامترهای اساسی برای مدیریت ریسک را تعریف می‌کند و اهداف و معیارها را برای ادامه فرآیند تنظیم می‌کند. زمینه‌سازی شامل درنظر گرفتن پارامترهای درونی و بیرونی مرتبط با کل سازمان است و همچنین ریسک‌های خاصی که باید سنجیده شوند.

در زمینه‌سازی، اهداف ارزیابی ریسک، معیارهای ریسک، و برنامه ارزیابی ریسک تعیین و مورد توافق قرار می‌گیرد.

برای ارزیابی ریسک خاص، زمینه‌سازی باید شامل زمینه‌های بیرونی، درونی و مدیریت ریسک و طبقه‌بندی معیارهای ریسک باشد:

الف) زمینه‌سازی بیرونی شامل آشنایی با محیطی که سازمان یا سیستم در آن فعالیت می‌کند شامل:

- عوامل فرهنگی، سیاسی، قانونی، آیین‌نامه‌ای، مالی، اقتصادی، و محیط رقابتی در سطح بین‌المللی، ملی، منطقه‌ای، محلی؛
- محرک‌ها و روندهای کلیدی که بر اهداف سازمان تاثیرگذار هستند؛
- درک و ارزش سهامداران خارجی.

ب) زمینه‌سازی درونی شامل درک موارد زیر است:

- قابلیت‌های سازمان از لحاظ منابع و دانش؛
- جریان اطلاعات و فرآیندهای تصمیم‌گیری؛
- سهامداران داخلی؛
- اهداف و استراتژی‌هایی که برای دستیابی به آن‌ها به کار می‌رود؛
- برداشت‌ها، ارزش‌ها و فرهنگ؛

- سیاست‌ها و فرآیندها؛
- استانداردها و مدل مرجع تصویب شده توسط سازمان؛
- ساختارها (به عنوان مثال دولت، نقش‌ها و پاسخگویی).

ج) زمینه‌سازی فرآیند مدیریت ریسک شامل موارد زیر است:

- تعریف مسئولیت‌ها و پاسخگویی‌ها؛
- تعریف اندازه‌ای از فعالیت‌های مدیریت ریسک که باید انجام گیرد، شامل محدودیت‌ها و اجزا خاص؛
- تعریف حدود پروژه، فرآیند، عملکرد یا فعالیت از لحاظ زمان و مکان؛
- تعریف روابط بین پروژه یا فعالیتی خاص و دیگر پروژه‌ها و فعالیت‌های سازمان؛
- تعریف روش‌شناسی ارزیابی ریسک؛
- تعریف معیارهای ریسک؛
- تعریف چگونگی ارزشیابی عملکرد مدیریت ریسک؛
- شناسایی و مشخص کردن تصمیمات و فعالیت‌هایی که باید گرفته شود؛
- شناسایی محدوده یا چارچوب مطالعات مورد نیاز، حدود، اهداف و منابع مورد نیاز برای هر مطالعه.

د) تعریف معیارهای ریسک شامل تصمیم‌گیری

- ماهیت و انواع پیامدها و چگونگی تدبیر آن‌ها را شامل می‌شود،
- روشی که در آن احتمالات بیان می‌شود،
- چگونه سطح ریسک تعیین گردد،
- معیارهایی که بر اساس آن نیاز به درمان برای ریسک تصمیم‌گیری شود،
- معیارهایی که بر اساس آن در مورد پذیرش یا تحمل ریسک تصمیم‌گیری می‌شود،
- چه زمان و چگونه ترکیبی از ریسک‌ها درنظرگرفته شود.

معیارها می‌تواند بر اساس منابعی همچون

- اهداف مورد توافق فرآیند،
- معیارهای تعیین شده در مشخصات،
- منابع داده‌های عمومی،
- معیارهای صنعتی پذیرفته شده مانند سطح یکپارچگی ایمنی،
- ریسک‌پذیری سازمان،
- الزامات قانونی برای تجهیزات خاص یا برنامه‌های کاربردی.

۴.۳.۴ ارزیابی ریسک

ارزیابی ریسک فرآیند کلی شناسایی ریسک، تحلیل ریسک و ارزشیابی ریسک است.

ریسک‌ها می‌توانند در سطح سازمان، سطح دپارتمان، برای پروژه‌ها، فعالیت‌ها یا ریسک‌های خاص سنجیده شوند. ابزارها و تکنیک‌های متفاوت می‌تواند در زمینه‌های مختلف مناسب باشند.

ارزیابی ریسک اطلاعاتی راجع به درک ریسک‌ها، علل آن‌ها، پیامدها و احتمال آن‌ها را تهیه می‌کند. این مرحله ورودی‌های مورد نیاز را برای تصمیم‌گیری در مورد مسائل زیر فراهم می‌کند:

- آیا فعالیت باید انجام پذیرد؛
- چگونگی به حداکثر رساندن فرصت‌ها؛
- آیا ریسک‌ها نیاز به درمان دارند؛
- انتخاب بین گزینه‌های مختلف با ریسک‌های متفاوت؛
- اولویت‌بندی گزینه‌های درمان ریسک؛
- انتخاب مناسب‌ترین استراتژی درمان ریسک که ریسک‌های نامطلوب را تا سطح قابل‌تحمل پایین می‌آورند.

۵.۳.۴ درمان ریسک

برای تکمیل ارزیابی ریسک، درمان ریسک شامل انتخاب و توافق در مورد یک یا چند گزینه مرتبط برای تغییر احتمال وقوع، اثرات ریسک، یا هر دو، و اجرای این گزینه‌ها، وجود دارد.

این فرآیند چرخه‌ای با بازارزیابی سطح جدید ریسک ادامه می‌یابد، تا سطح تحمل را در برابر معیارهای از قبل تعریف شده روبرو کند، به منظور تصمیم در مورد این که آیا درمان بیشتری نیاز است.

۶.۳.۴ پایش و بررسی

به عنوان بخشی از فرآیند مدیریت ریسک، ریسک‌ها و کنترل‌ها باید بر اساس بازدید دوره‌ای مورد نظارت و بررسی قرار گیرند تا

- فرضیات در مورد ریسک‌ها معتبر باشد؛
- فرضیات که بر اساس آن ارزیابی ریسک صورت گرفته، شامل زمینه‌های بیرونی و درونی، معتبر باشد؛
- نتایج مورد انتظار تحقق یابند؛
- نتایج ارزیابی ریسک با تجربیات واقعی همسو باشند؛
- تکنیک‌های ارزیابی ریسک به درستی استفاده می‌گردد؛
- درمان ریسک اثربخش است.

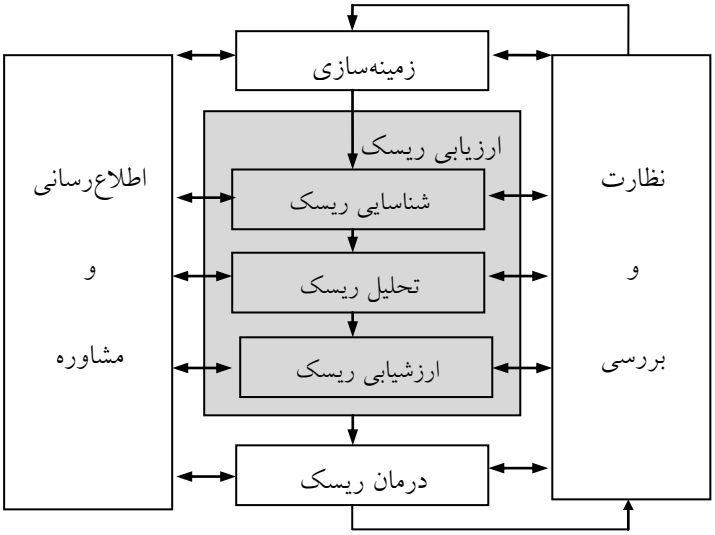
پاسخگویی برای نظارت و بررسی باید تعیین شده باشد.

۵ فرآیند ارزیابی ریسک

۱.۵ بررسی اجمالی

ارزیابی ریسک برای تصمیم‌گیران و بخش‌های مسئول، درک بهتری از ریسک‌هایی که می‌توانند بر تحقق اهداف تاثیرگذار باشند و کفایت و اثربخشی کنترل‌های موجود را، فراهم می‌آورد. اساس و پایه‌ای برای تصمیم‌گیری در مورد مناسب‌ترین رویکرد برای درمان ریسک را فراهم می‌آورد. نتایج ارزیابی ریسک ورودی برای فرآیند تصمیم‌گیری سازمان است.

ارزیابی ریسک فرآیند کلی شناسایی، تحلیل و ارزشیابی ریسک است (شکل ۱). شیوه‌ای که در این فرآیند استفاده می‌شود فقط به چارچوب مدیریت ریسک وابسته نیست بلکه به شیوه و تکنیکی که در ارزیابی ریسک استفاده می‌شود، وابسته است.



شکل ۱- سهم ارزیابی ریسک از فرآیند مدیریت ریسک

هنگامی که ریسک‌ها طیف وسیعی از علل و پیامدها را در بر می‌گیرد، ممکن است ارزیابی ریسک نیاز به رویکرد چند رشته‌ای داشته باشد.

۲.۵ شناسایی ریسک

شناسایی ریسک فرآیند یافت، شناخت و ثبت ریسک است.

هدف از شناسایی ریسک، شناخت اتفاقاتی است که ممکن است رخ دهد یا شرایطی که ممکن است وجود داشته باشد و بر دستیابی اهداف سیستم یا سازمان تاثیرگذار باشد. هنگامی که ریسک شناسایی شد، سازمان باید هر کنترل موجود شامل ویژگی‌های طراحی، افراد، فرآیندها و سیستم را شناسایی کند.

فرآیند شناسایی ریسک شامل شناخت علل و منابع ریسک (مخاطرات در مورد آسیب‌های فیزیکی)، پیشامد، وضعیت یا شرایط که می‌تواند بر اهداف تاثیرگذار باشد و ماهیت این اثرات، است.

روش‌های شناسایی ریسک می‌تواند شامل:

- روش‌های مبتنی بر شواهد، مانند چک‌لیست‌ها و بررسی داده‌های تاریخی؛
- رویکرد گروهی سیستماتیک، جایی که گروهی از متخصصان فرآیند سیستماتیک برای شناسایی ریسک بوسیله فعالیت‌ها یا سوالات ساختاریافته را دنبال می‌کنند؛
- تکنیک‌های استدلالی قیاسی مانند HAZOP.

تکنیک‌های پشتیبانی مختلف می‌تواند برای بهبود دقت و تکمیل شناسایی ریسک استفاده شود، شامل طوفان‌ذهنی و روش دلفی.

صرف‌نظر از هر تکنیکی که استفاده می‌گردد، درنظر گرفتن عوامل انسانی و سازمانی در هنگام شناسایی ریسک بسیار مهم است. از این‌رو، انحراف عوامل انسانی و سازمانی از آنچه مورد انتظار است باید در فرآیند شناسایی ریسک درنظر گرفته شود. همانگونه که پیشامد "سخت افزاری" و "نرم افزاری" درنظر گرفته می‌شوند.

۳.۵ تحلیل ریسک

۱.۳.۵ کلیات

تحلیل ریسک در مورد ایجاد درک از ریسک است. این مرحله ورودی ارزیابی ریسک و تصمیم‌گیری درمورد نیاز به درمان ریسک و مناسب‌ترین استراتژی‌ها و روش‌های درمان را فراهم می‌کند.

تحلیل ریسک شامل تعیین پیامدها و احتمالات آن‌ها برای شناسایی پیشامدهای ریسک است، و حضور (عدم حضور) و اثربخشی کنترل‌های موجود را بررسی می‌کند. پیامدها و احتمالات آن‌ها تعیین می‌شوند تا، سطح ریسک معین گردد.

تحلیل ریسک شامل رسیدگی به علل و منابع ریسک، پیامدهای آنان و احتمالات آن دسته از پیامدهایی که می‌توانند رخ دهند. عواملی که بر پیامدها و احتمالات تاثیرگذارند باید شناسایی شوند. پیشامد ممکن است چندین پیامد داشته باشد و بر اهداف متعددی تاثیر داشته باشد. کنترل‌های موجود ریسک و اثربخشی آن‌ها باید مورد توجه قرار بگیرد. روش‌های متفاوت برای این تحلیل‌ها در پیوست (ب) شرح داده شده است. ممکن است بیشتر از یک تکنیک در کاربردهای پیچیده نیاز باشد.

تحلیل ریسک معمولاً شامل تخمین طیفی از پیامدهای بالقوه، که ممکن است از پیشامد، شرایط یا وضعیت، و احتمالات مرتبط با آن‌ها باشد که منجر به اندازه‌گیری سطح ریسک می‌گردد. اگرچه در بعضی از موارد، مانند زمانی که به احتمال زیاد پیامدها ناچیز باشد، یا احتمال وقوع بسیار پایین باشد، برآورد پارمتر هم می‌تواند برای تصمیم‌گیری کافی باشد.

در برخی شرایط، پیامد می‌تواند به عنوان نتیجه طیفی از پیشامد یا شرایط مختلف، یا پیشامد خاصی باشد که شناسایی نشده است. در این مورد، تمرکز ارزیابی ریسک بر تحلیل اجزای مهم و آسیب‌پذیر سیستم با توجه به تعریف درمان مرتبط با سطح حفاظت و استراتژی‌های بازیافت است.

روش‌های استفاده شده در تحلیل ریسک می‌تواند کیفی، نیمه‌کمّی یا کمّی باشد. درجه دقت مورد نیاز وابسته به کاربرد خاص، دسترس‌پذیری داده‌های قابل اطمینان و نیازهای تصمیم‌گیری سازمان هستند. بعضی از روش‌ها و درجات جزئیات تحلیل می‌تواند توسط قانون مقرر شده باشد.

ارزیابی کیفی، پیامدها و احتمالات و سطح ریسک را توسط سطح اهمیت مانند "زیاد"، "متوسط" و "کم" تعریف می‌کند، و ممکن است پیامدها و احتمالات را ترکیب کرده، و نتایج سطح ریسک را در برابر معیارهای کیفی ارزشیابی کند.

روش‌های نیمه‌کمّی از مقیاس رتبه‌بندی عددی برای پیامدها و احتمالات آن‌ها استفاده می‌کند و از فرمول برای ترکیب آن‌ها در جهت تولید سطح ریسک بهره می‌برد. مقیاس‌ها ممکن است خطی یا لگاریتمی باشد یا روابط دیگری داشته باشند؛ فرمول‌ها می‌توانند بسیار متنوع باشند.

تحلیل کمّی ارزش کاربردی برای پیامدها و احتمالات آن‌ها را برآورد می‌کند، و ارزش سطح ریسک را در واحدهای مشخصی که هنگام ایجاد چارچوب تعریف شده است، تولید می‌کند. تحلیل کمّی کامل ممکن است همیشه قابل اجرا نباشد یا بعلّت اطلاعات ناکافی در مورد سیستم یا فعالیت تحت تحلیل، عدم وجود داده، تاثیر عوامل انسانی و غیره نامطلوب باشد. در چنین شرایطی، رتبه‌بندی کیفی یا نیمه‌کمّی مقایسه‌ای توسط متخصصان، که در زمینه مربوطه آگاه هستند، ممکن است موثّر باشد.

در بعضی از موارد زمانی که تحلیل کیفی است، باید توضیح واضح از کلیه شرایط بکارگرفته شده و اساس کلیه معیارها ثبت گردد.

حتی جایی که تحلیل کمّی کامل در حال اجرا است، نیاز به شناخت سطح ریسک محاسبه شده توسط برآورد وجود دارد. باید مطمئن شویم که سطحی از دقت و صحت آن‌ها با دقت داده‌ها و روش مورد استفاده، سازگار باشد.

سطح ریسک باید در مناسب‌ترین شرایط برای نوع ریسک و در جهت کمک به ارزشیابی ریسک بیان گردد. در برخی موارد، بزرگی ریسک را می‌توان با توزیع احتمال از پیامدها بیان کرد.

۲.۳.۵ ارزیابی کنترل‌ها

سطح ریسک بستگی به کفایت و اثربخشی کنترل‌های موجود دارد. سوالاتی که با آن مواجه هستیم عبارتند از:

- کنترل‌های موجود برای ریسک خاص چیست؟
- آیا این کنترل‌ها توانایی درمان ریسک به میزان کافی را دارند، طوری که تا سطح قابل‌تحمل آن‌ها را کنترل کنند؟
- در عمل، آیا عملیات کنترل در شیوه‌ای که درنظر گرفته شده می‌تواند در زمان مورد نیاز موثّر واقع گردد؟

این سوالات صرفاً با اطمینان از اسناد مناسب و فرآیندهای مطمئن که در محل وجود دارند، می‌تواند پاسخ داده شود.

سطح اثربخشی کنترل خاص، یا مجموعه‌ای از کنترل‌های مرتبط، می‌تواند بصورت کیفی، نیمه‌کمّی یا کمّی بیان شود. در بسیاری از موارد، سطح دقت بالا موجه نیست. اگرچه، برای بیان و ثبت اندازه اثربخشی کنترل‌های ریسک ارزشمند است بطوری که می‌شود قضاوت کرد که تلاش برای بهبود کنترل را داشته باشیم یا درمان‌های ریسک مختلفی را فراهم نماییم.

۳.۳.۵ ارزیابی پیامدها

تحلیل پیامد تعیین ماهیت و نوع اثراتی است که می‌تواند روی دهد با فرض وضعیت یا شرایط پیشامد که رخ داده است. پیشامد ممکن است طیفی از اثرات با اندازه متفاوت داشته باشد، و بر طیفی از اهداف گوناگون و ذینفعان مختلف تاثیر داشته باشد. نوع پیامدهایی که باید تحلیل گردند و ذینفعان تحت تاثیر قرار گرفته، باید در زمان زمینه‌سازی درباره‌شان تصمیم‌گیری شود.

تحلیل پیامد می‌تواند بسیار متفاوت، از تشریح ساده پیامد تا الگوهای جزئیات عددی و تحلیل آسیب‌پذیری باشد.

اثرات می‌توانند پیامد کم با احتمال بالا، یا پیامدهای زیاد با احتمال کم، یا موارد متوسط را دربر داشته باشد. در بعضی موارد، تمرکز بر ریسک با نتایج بالقوه بسیار بزرگ مناسب است، که این‌ها اغلب بزرگ‌ترین نگرانی‌های مدیران هستند. در بعضی دیگر، ممکن است این بسیار مهم باشد که پیامدهای کم و زیاد را بصورت جداگانه تحلیل نماییم. برای مثال، مشکل متوالی امّا با اثرات کم (یا مزمن) می‌تواند اثرات انباشته بزرگ و طولانی مدت داشته باشد. بعلاوه، فعالیت درمانی برای مقابله با این دو نوع از ریسک اغلب بسیار متفاوت است، بصورتی که تحلیل جداگانه موثّر است.

تحلیل پیامد می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- توجه به ملاحظات کنترل‌های موجود برای درمان پیامدها، همراه با کلیه عوامل شرکت‌کننده مرتبط که بر پیامدها اثرگذار هستند؛
- رابطه بین پیامدهای ریسک و اهداف اصلی؛
- درنظر گرفتن پیامدهای فوری و پیامدهایی که بعد از زمان مشخصی روی می‌دهد، اگر آن‌ها در محدوده ارزیابی ریسک درنظر گرفته شده باشد؛
- درنظر گرفتن پیامدهای ثانویه، مانند اثراتی که مرتبط با سیستم، فعالیت، تجهیزات یا سازمان است.

۴.۳.۵ تحلیل احتمال وقوع و تخمین برآورد

سه رویکرد کلی معمولاً در تخمین احتمال استفاده می‌شود؛ که ممکن است جداگانه یا بصورت توام استفاده شود:

آ) استفاده از داده‌های تاریخی مرتبط که در پیشامد و یا وضعیت‌هایی که در گذشته رخ داده است شناسایی شده و از این رو می‌توان از آن‌ها برای برونیابی احتمال رویداد در آینده استفاده کرد. داده‌های مورد استفاده باید مرتبط با نوع سیستم، تاسیسات، سازمان یا فعالیت باشد و شامل استانداردهای عملیاتی سازمان باشد. اگر توالی خیلی پایین از اتفاقات تاریخی موجود باشد، آنگاه هر احتمالی که تخمین زده شود بسیار نامطمئن است. این بخصوص برای شرایطی صدق می‌کند که رخ نداده، هنگامی که هیچ فرضی درباره پیشامد، شرایط یا وضعیت در آینده وجود نخواهد داشت.

ب) پیش‌بینی احتمال با استفاده از تکنیک‌های پیش‌بینی‌کننده مانند تحلیل درخت پیشامد و تحلیل درخت پیشامد (پیوست ب). هنگامی که داده‌های تاریخی غیرقابل دسترس یا ناکافی باشند، لازم است که احتمال توسط تحلیل سیستم، فعالیت، تجهیزات یا سازمان و حالات موفقیت و شکست مرتبط با آن، استخراج گردد. سپس داده‌های عددی برای تجهیزات، نیروی انسانی، سازمان یا سیستم از تجربیات عملیاتی، یا منابع داده‌های منتشر شده ترکیب می‌گردند تا تخمین احتمال پیشامد نهایی تعیین گردد. هنگام استفاده از تکنیک‌های پیش‌بینی‌کننده باید اطمینان داشته باشیم که مقادیر مجاز[1] برای تحلیل امکان حالت خرابی مشترک از قبل تعیین‌شده باشد، که شامل خرابی همزمان تعدادی از بخش‌ها یا اجزای مختلف درون سیستم است و براثر علّتی واحد حادث شده‌اند. ممکن است تکنیک‌های شبیه‌سازی برای تولید احتمال شکست تجهیزات و ساختارهای ناشی از فرسودگی و دیگر فرآیندهای تخریب نیاز باشد، تا اثرات عدم‌اطمینان را محاسبه کند.

ج) نظرات کارشناسی می‌تواند در فرآیند سیستماتیک و ساختاریافته برای تخمین احتمال استفاده گردد. قضاوت کارشناسی باید از همه اطلاعات مرتبط دردسترس شامل تاریخی، مخصوص سیستم، سازمان، آزمایشی، طراحی و غیره بهره ببرد. تعدادی از روش‌های رسمی برای قضاوت کارشناسی تهیه شده است که به تدوین سوالات مناسب کمک می‌کند. روش‌های دردسترس شامل رویکرد دلفی، مقایسه جفتی، دسته‌بندی رتبه‌ای و قضاوت احتمال مطلق است.

۵.۳.۵ تحلیل مقدماتی

[1] Due allowance

ریسک‌ها ممکن است غربال شوند تا مهمترین ریسک‌ها شناسایی شوند، یا ریسک‌های کم اهمیت و جزئی در تحلیل‌های بیشتر ورود نکنند. هدف از این کار، اطمینان از تمرکز بیشتر منابع بر ریسک‌های مهم است. باید مراقبت کرد که ریسک‌های پایین که فراوانی بالا و اثرات تجمعی مهمی دارند، حذف نشوند.

غربال باید بر اساس معیارهایی که در زمینه‌سازی تعریف شده است انجام گیرد. تحلیل اولیه یک یا چند فعالیت از گزینه‌های زیر را تعیین می‌کند:

- تصمیم به درمان ریسک بدون نیاز به ارزیابی بیشتر؛
- کنار گذاشتن ریسک‌های ناچیز که درمان برای آن‌ها قابل توجیه نیست؛
- ادامه ارزیابی ریسک با جزئیات بیشتر.

نتایج و فرضیات اولیه باید مستند شوند.

۶.۳.۵ عدم‌اطمینان‌ها و حساسیت‌ها

اغلب عدم‌اطمینان قابل‌توجهی همراه با تحلیل ریسک وجود دارد. درک عدم‌اطمینان نیاز به تفسیر و ارتباط با نتایج تحلیل ریسک، بصورت موثّر دارد. تحلیل عدم‌اطمینان در ارتباط با داده‌ها، روش‌ها و الگوهایی که در شناسایی و تحلیل ریسک استفاده شده‌اند، نقش مهمی در استفاده از آن‌ها دارد. تحلیل عدم‌اطمینان شامل تعیین، تنوع یا عدم دقت در نتایج، و ناشی از پارامترهای متنوع جمع‌آوری شده و فرضیاتی است که در تعریف نتایج استفاده شده است. زمینه‌ای که رابطه نزدیکی با تحلیل عدم‌اطمینان دارد، تحلیل حساسیت است.

تحلیل حساسیت شامل اندازه و اهمیت مقدار ریسک نسبت به تغییرات پارامترهای ورودی است. این کار به منظور شناسایی داده‌هایی که نیاز به دقت دارند و آن‌هایی که حساسیت کمتری دارند و از این رو اثر کمتری بر دقت کلی دارند، استفاده می‌شود.

تکامل و دقت تحلیل ریسک تا آن حد که ممکن است باید کامل باشد. منابع عدم‌اطمینان تا حد ممکن شناسایی‌شده باشند و عدم‌اطمینان در داده‌ها یا مدل/روش بررسی شده باشد. پارامترهای موجود در تحلیل حساسیت و درجه حساسیت باید توضیح داده شده باشد.

۴.۵ ارزشیابی ریسک

ارزشیابی ریسک شامل مقایسه سطح ریسک برآورد شده با معیارهای ریسک تعریف شده، در بخش زمینه‌سازی، به منظور تعیین سطح اهمیت و نوع ریسک است.

ارزشیابی ریسک، از فهم ریسک بدست آمده در مرحله تحلیل ریسک استفاده می‌کند تا برای فعالیت‌های آینده تصمیم‌گیری کند. ملاحظات اصولی، قانونی و مالی و دیگر ملاحظات، شامل برداشت از ریسک، ورودی‌هایی برای تصمیم‌گیری هستند.

تصمیم‌ها ممکن است شامل:

- نیاز به درمان ریسک؛
- اولویت‌ها برای ریسک؛
- فعالیتی که باید انجام پذیرد؛
- کدام یک از راه‌ها باید دنبال شوند.

در بخش زمینه‌سازی درباره ماهیت تصمیماتی که باید گرفته شود و معیارهای مورد استفاده در این تصمیم‌گیری‌ها، تصمیم‌گیری می‌شود. امّا بازبینی با جزئیات بیشتر در این مرحله که اطلاعات بیشتری درباره ریسک‌های مخصوص شناسایی شده است، نیاز است.

ساده‌ترین چارچوب برای تعریف معیارهای ریسک سطحی است که ریسک‌ها را به دو بخش نیازمند به درمان و بدون نیاز به درمان تقسیم می‌کند. این‌کار بصورت جذابی نتایج ساده‌ای را دارد امّا عدم‌اطمینان، شامل برآورد ریسک و مرز بین آن‌ها که نیاز به درمان دارند و آن‌ها که نیازی ندارند، منعکس نمی‌کند.

تصمیم در مورد اینکه چقدر و چگونه ریسک‌ها درمان شوند ممکن است وابسته به هزینه و مزایا ریسک و هزینه و اجرای کنترل‌های بهبود بخش ریسک باشد.

رویکرد معمول ریسک‌ها را به سه گروه تقسیم می‌کند:

آ) حد بالایی که سطح ریسک غیرقابل‌تحمل است هرچند که مزایایی داشته باشد و درمان ریسک با هر هزینه‌ای برای این ریسک‌ها ضروری است.

ب) حد میانی (یا منطقه "خاکستری") که در آن هزینه‌ها و مزایا درنظر گرفته شده و فرصت‌ها در برابر پیامدهای بالقوه بررسی می‌گردند.

ج) حد پایین که ریسک قابل چشم‌پوشی است، یا آنقدر کوچک است که نیاز به تدابیر درمانی نیست.

سیستم معیارهای "پایین‌ترین مقدار ممکن" یا ALARP که در کاربردهای ایمنی استفاده می‌شوند از این رویکرد تبعیت می‌کند. در این رویکرد، در حد متوسط، مقیاس متغیری برای ریسک‌های کم وجود دارد که در آن هزینه‌ها و مزایا را می‌توان بطور مستقیم مقایسه کرد. امّا در ریسک‌های بالا، پتانسیل خسارت باید کاهش یابد تا نقطه‌ای که هزینه‌ی کاهش بیشتر با ایمنی حلصله متناسب نباشد.

۵.۵ مستندسازی

فرآیند ارزیابی ریسک باید همراه با نتایج ارزیابی مستند شود. ریسک‌ها باید با مولفه‌های قابل درک بیان گردد و واحدهایی که سطح ریسک با آن‌ها بیان شده است باید واضح باشند.

سطح گزارش بستگی به اهداف و حیطه ارزیابی ریسک دارد. بجز ارزیابی‌های بسیار ساده، مستندات باید شامل:

- حیطه و اهداف؛
- شرح قسمت‌های مرتبط سیستم و وظایف آن‌ها؛
- خلاصه‌ای از چارچوب بیرونی و درونی سازمان و چگونگی ارتباط با وضعیت، سیستم یا شرایط که باید سنجیده شود؛
- معیارهای ریسک مورد استفاده و توجیه آن‌ها؛
- محدودیت‌ها، مفروضات و توجیه فرضیات؛
- روش‌شناسی ارزیابی؛
- نتایج شناسایی ریسک؛
- داده‌ها، مفروضات و منابع و اعتبار آن‌ها؛
- نتایج تحلیل ریسک و ارزشیابی آن‌ها؛

- تحلیل حساسیت و عدم‌اطمینان؛
- فرضیات بحرانی و دیگر عواملی که نیاز به نظارت دارند؛
- بحث نتایج؛
- نتیجه گیری و پیشنهادات؛
- منابع.

اگر ارزیابی ریسک از فرآیند مدیریت ریسک مستمر پشتیبانی کند، باید بصورتی انجام گیرد و مستند گردد که بتوان در سراسر چرخه عمر سیستم، سازمان، تجهیزات یا فعالیت، نگهداری شود. ارزیابی باید در زمان دردسترس قرارگرفتن اطلاعات مهم جدید و تغییر چارچوب، مطابق با نیازهای فرآیند مدیریت به روز رسانی شود.

۶.۵ نظارت و بررسی ارزیابی ریسک

فرآیند ارزیابی ریسک، چارچوب و دیگر عواملی که انتظار می‌رود در طول زمان تغییر کند و منجر به تغییر یا بی‌ارزش شدن ارزیابی ریسک شود را برجسته می‌نماید. این عوامل باید بطور خاص برای نظارت و پایش شناسایی شوند، بنابراین ارزیابی ریسک باید به روز رسانی شود.

داده‌ها هم به منظور اصلاح ارزیابی ریسک باید پایش گردند و همچنین شناسایی و جمع‌آوری شوند.

اثربخشی کنترل‌ها باید بررسی و جهت فراهم‌آوری داده برای استفاده در تحلیل ریسک مستند گردند. مسئولیت برای ایجاد و نظارت شواهد و مستندات باید تعریف شده باشد.

۷.۵ کاربرد ارزیابی ریسک در فازهای مختلف چرخه عمر

بسیاری از فعالیت‌ها، پروژه‌ها و محصولات ممکن است شامل رویهی چرخه‌ای باشد که از مفاهیم و تعاریف اولیه شروع شده تا مسیر نهایی شامل تخریب و فرسودگی سخت افزاری ادامه می‌یابد.

ارزیابی ریسک می‌تواند بر کلیه مراحل چرخه عمر اعمال گردد و معمولاً چندین بار با سطوح مختلفی از دقت اجرا می‌گردد تا به تصمیم‌گیری در هر مرحله کمک نماید.

مراحل مختلف چرخه عمر با توجه به نیازهای مختلف، تکنیک‌های متفاوتی را می‌طلبد. به عنوان مثال در مرحله مفاهیم و تعاریف، زمانی که فرصت‌ها شناسایی می‌شوند، ارزیابی ریسک باید تصمیم به ادامه داشتن یا نداشتن رویه بگیرد.

هنگامی که گزینه‌های مختلفی دردسترس است، ارزیابی ریسک می‌تواند از ارزشیابی مفاهیم جایگزین برای کمک به تصمیم‌گیری تعادل در ریسک‌های مثبت و منفی، استفاده کند.

در طول مراحل طراحی و توسعه ارزیابی ریسک کمک به موارد زیر می‌کند:

- اطمینان می‌دهد که ریسک‌های سیستم قابل‌تحمل هستند؛
- طراحی فرآیند اصلاحی انجام می‌شود؛
- مطالعات اثربخشی هزینه؛
- اثرات ریسک بر مراحل بعدی چرخه عمر.

هنگامی که فعالیت‌ها ادامه یابد، ارزیابی ریسک می‌تواند اطلاعاتی را فراهم نماید تا روش‌های توسعه در شرایط معمول و بحرانی را داشته باشیم.

۶ انتخاب تکنیک‌های ارزیابی ریسک

۱.۶ کلیات

این بند توضیح می‌دهد که چگونه تکنیک‌های ارزیابی ریسک می‌توانند انتخاب شوند. در لیست پیوست‌ها وتوضیحات طیفی از ابزارها و تکنیک‌هایی که می‌تواند در شکل‌گیری ارزیابی ریسک استفاده گردند یا به فرآیند ارزیابی ریسک کمک کنند، آمده است. ممکن است گاهی اوقات بیش از یک روش برای ارزیابی ریسک استفاده گردد.

۲.۶ انتخاب تکنیک‌ها

ارزیابی ریسک ممکن است تحت درجات مختلفی از دقت و کیفیت انجام شود و استفاده از یک یا چند روش از ساده تا پیچیده را دربر داشته باشد. فرم ارزیابی و نتایج آن باید با معیارهای ریسک ایجاد شده به عنوان بخشی از زمینه‌سازی، سازگار باشد. پیوست (الف) رابطه مفهومی بین دسته وسیعی از تکنیک‌های ارزیابی ریسک و عوامل حاضر در شرایط ریسک را نشان می‌دهد و مثال‌های گویا برای سازمان‌ها که چگونه تکنیک ارزیابی ریسک مناسب را برای شرایط خاص انتخاب کنند، آورده است.

در حالت عمومی، تکنیک مناسب باید مشخصات زیر را در خود داشته باشد:

- باید موجه و مناسب برای شرایط یا سازمان مورد نظر باشد؛
- باید نتایج بصورتی فراهم گردد که فهم از ماهیت ریسک را افزایش داده و راه‌های درمان را مشخص کند؛
- باید در استفاده از راه‌هایی که قابل ردیابی، تکرار، و تحقق پذیرند توانایی داشته باشد.

دلایلی که برای انتخاب تکنیک باید آورده شود، مرتبط و مناسب بودن آن است. هنگامی که نتایج حاصل از مطالعات مختلف یکپارچه می‌شوند، تکنیک استفاده شده و نتایج باید قابل مقایسه باشند.

هنگامی که تصمیم به انجام مدیریت ریسک گرفته می‌شود و اهداف و حیطه تعریف می‌شوند، تکنیک ارزیابی باید انتخاب گردد، و انتخاب بر اساس معیارهای کاربردی مانند:

- اهداف مطالعه؛ اهداف ارزیابی ریسک تاثیر مستقیمی بر تکنیک مورد استفاده خواهد داشت. به عنوان مثال، اگر مطالعه مقایسه‌ای بین گزینه‌های مختلف که تحت اجرا هستند، انجام شود، مدلی که نتایجی با سطح جزیئات کمتری دارد برای قسمت‌هایی که در تغییرات اثری ندارند، انتخاب می‌شود.
- نیازهای تصمیم‌گیرندگان. در بعضی از موارد، به علّت سطح بالایی از جزئیات نیاز به تصمیم مناسب است و درسایر موارد دانستن موارد عمومی کافی است.
- نوع و محدوده ریسکی که باید تحلیل گردد؛
- بزرگی بالقوه پیامدها؛ تصمیم بر اینکه ارزیابی ریسک در چه سطحی انجام پذیرد بر اساس انعکاسی از درک اولیه پیامدها است (اگرچه ممکن است هنگامی که ارزشیابی اولیه ایجاد شود تغییراتی ایجاد شود)؛
- نیاز به درجاتی از تخصص، منابع انسانی و دیگر منابع. روش ساده‌ای که کامل انجام پذیرد می‌تواند نتایج بهتری از روش پیچیده‌ای که ضعیف انجام شده است، داشته باشد، بنابراین در طول فعالیت می‌توان

محدوده و اهداف ارزیابی را مشاهده کرد. معمولاً، تلاش‌هایی که جهت ارزیابی ریسک انجام شود باید با سطح ریسک تحلیل شده مطابقت داشته باشد.

- دسترس‌پذیری اطلاعات و داده‌ها. بعضی از تکنیک‌ها نیاز به سطح بالاتری از اطلاعات و داده دارند.
- نیاز به اصلاح/ به‌روزرسانی ارزیابی ریسک. ارزیابی ممکن است نیاز به اصلاح/ به‌روزرسانی در آینده داشته باشد و بعضی از تکنیک‌ها در این زمینه حساس‌ترند.
- الزامات آیین‌نامه‌ای و قراردادی.

عوامل مختلفی مانند دسترس‌پذیری منابع، ماهیت و درجه عدم‌اطمینان در داده‌ها و اطلاعات دردسترسی و پیچیدگی فعالیت در انتخاب رویکرد ارزیابی ریسک تاثیرگذار است(جدول الف .۲).

۳.۶ دسترسی منابع

منابع و قابلیت‌ها می‌توانند در انتخاب تکنیک ارزیابی ریسک اثرگذار باشند شامل:

- مهارت، تجربه، ظرفیت و قابلیت تیم ارزیابی ریسک؛
- محدودیت زمان و دیگر منابع در سازماندهی؛
- بودجه دردسترس اگر منابع خارجی نیاز باشد.

۴.۶ ماهیت و درجه عدم‌اطمینان

ماهیت و درجه عدم‌اطمینان نیاز به فهم کیفیت، کمیت، کلیت اطلاعات دردسترس و تحت شرایط ریسک دارد. این شامل میزان اطلاعات مورد نیاز درباره ریسک، منابع و علل، پیامدهای آنان برای تحقق اهداف، که دردسترس هستند. عدم‌اطمینان می‌تواند ناشی از کیفیت پایین داده‌ها یا عدم وجود داده‌های قابل‌اعتماد و ضرور باشد. برای مثال، روش جمع‌آوری اطلاعات ممکن است تغییر کند، راه استفاده سازمان از آن روش ممکن است تغییر کند، یا سازمان هرگز نتواند روش سازماندهی مناسبی را در محل داشته باشد، تا داده‌های شناسایی ریسک را جمع‌آوری کند.

عدم‌اطمینان می‌تواند در چارچوب مفاهیم بیرونی و درونی سازمان باشد. داده‌های دردسترس همیشه پایه‌ای قابل‌اعتماد برای آینده نیستند. برای ریسک‌های منحصربه‌فرد، داده‌های تاریخی ممکن است دردسترس نباشد یا تفاسیر متفاوتی از داده‌های قابل دسترس توسط ذینفعان مختلف باشد. انجام ارزیابی ریسک نیاز به فهم ماهیت و نوع عدم‌اطمینان و درک مفهوم نتایج حاصل از ارزیابی را دارد. این موارد همیشه باید با تصمیم‌گیرنده در رابطه باشد.

۵.۶ پیچیدگی

ریسک‌ها می‌توانند درهم‌تنیده شده باشند. به عنوان مثال در سیستم پیچیده نیاز به ارزیابی ریسک در سراسر سیستم قبل از بررسی هر قسمت بصورت مستقل و نادیده گرفتن فعل و انفعالات است. در موردی دیگر، درمان ریسک در مکانی دیگر بوده و اثراتی را بر فعالیت آن دارد. اثرات پیامدها و وابستگی ریسک نیاز به فهم این نکته دارد که مدیریت ریسک در مکانی دیگر وضعیت غیرقابل‌تحمل را ایجاد نمی‌کند. درک پیچیدگی‌های ریسک یا پروفایل ریسک برای سازمان بسیار حیاتی است تا بوسیله آن روش و تکنیک ارزیابی ریسک را انتخاب نمایند.

۶.۶ کاربرد ارزیابی ریسک در مراحل چرخه عمر

بسیاری از فعالیت‌ها، پروژه‌ها و محصولات ممکن است شامل رویهی چرخه‌ای باشد که از مفاهیم و تعاریف اولیه شروع شده تا مسیر نهایی شامل تخریب و فرسودگی سخت افزاری ادامه می‌یابد.

ارزیابی ریسک می‌تواند بر کلیه مراحل چرخه عمر اعمال گردد و معمولاً چندین بار با سطوح مختلفی از دقت اجرا می‌گردد تا به تصمیم‌گیری در هر مرحله کمک نماید.

مراحل مختلف چرخه عمر با توجه به نیازهای مختلف، تکنیک‌های متفاوتی را می‌طلبد. به عنوان مثال در مرحله مفاهیم و تعاریف، زمانی که فرصت‌ها شناسایی می‌شوند، ارزیابی ریسک باید تصمیم به ادامه داشتن یا نداشتن رویه بگیرد.

هنگامی که گزینه‌های مختلفی دردسترس است، ارزیابی ریسک می‌تواند از ارزشیابی مفاهیم جایگزین برای کمک به تصمیم‌گیری تعادل در ریسک‌های مثبت و منفی، استفاده کند.

در طول مراحل طراحی و توسعه ارزیابی ریسک کمک به موارد زیر می‌کند:

- اطمینان می‌دهد که ریسک‌های سیستم قابل‌تحمل هستند؛
- طراحی فرآیند اصلاحی انجام می‌شود؛
- مطالعات اثربخشی هزینه؛
- اثرات ریسک بر مراحل بعدی چرخه عمر.

هنگامی که فعالیت‌ها ادامه یابد، ارزیابی ریسک می‌تواند اطلاعاتی را فراهم نماید تا روش‌های توسعه در شرایط معمول و بحرانی را داشته باشیم.

۷.۶ انواع تکنیک‌های ارزیابی ریسک

تکنیک‌های ارزیابی ریسک را می‌توان در شیوه‌های مختلف طبقه‌بندی کرد تا به شناخت نقاط قوت و ضعف مرتبط با آن‌ها کمک کند. جدول پیوست الف رابطه بین تکنیک‌ها و دسته‌بندی آن‌ها را برای اهداف مشخص نشان می‌دهد.

هر کدام از تکنیک‌هایی که در پیوست (ب) بیشتر توضیح داده شده است، که شامل ماهیت ارزیابی آن‌ها و راهنمایی برای استفاده از آن‌ها در شرایط مشخص است.

پیوست الف

مقایسه تکنیک‌های ارزیابی ریسک

الف.۱ انواع تکنیک

طبقه‌بندی اول چگونگی استفاده از تکنیک‌ها در هر مرحله از فرآیند ارزیابی ریسک را در مراحل زیر نشان می‌دهد:

- شناسایی ریسک؛
- تحلیل ریسک – تحلیل پیامدها؛
- تحلیل ریسک – برآورد احتمال کیفی، نیمه‌کمّی یا کمّی؛
- تحلیل ریسک – ارزیابی اثربخشی کنترل‌های موجود؛
- تحلیل ریسک – برآورد سطح ریسک؛
- ارزشیابی ریسک.

برای هر مرحله در فرآیند ارزیابی ریسک، استفاده از روش با واژه‌های بسیار کاربردی، دارای کاربرد یا بدون کاربرد شرح داده شده است(جدول الف.۱).

الف.۲ عوامل موثّر در انتخاب تکنیک‌های ارزیابی ریسک

در بخش بعد ویژگی روش‌ها شرح داده می‌شود با شرایط

- پیچیدگی مسئله و روش‌هایی که برای تحلیل آن نیاز است،
- ماهیت و درجه عدم‌اطمینان ارزیابی ریسک که وابسته به میزان اطلاعات دردسترس و آنچه که برآورد اهداف نیاز است،
- مقدار منابع مورد نیاز مانند زمان، سطح تخصص، داده مورد نیاز و هزینه،
- آیا روش نتایج کمّی را فراهم می‌کند.

مثال‌هایی از انواع روش‌های ارزیابی ریسک در جدول الف.۲ دردسترس است که هر روش با واژه‌های بالا، متوسط و کم شرح داده شده است.

جدول الف.۱ – کاربری ابزارهای مورد استفاده در ارزیابی ریسک

ابزارها و تکنیک‌ها	فرآیند ارزیابی ریسک					پیوست
	شناسایی ریسک	تحلیل ریسک			ارزشیابی ریسک	
		پیامدها	احتمالات	سطح ریسک		
طوفان‌ذهنی	SA[1]	NA[2]	NA	NA	NA	ب ۰۱
مصاحبه منظم و نیمه‌منظم	SA	NA	NA	NA	NA	ب ۰۲
دلفی	SA	NA	NA	NA	NA	ب ۰۳
چک‌لیست	SA	NA	NA	NA	NA	ب ۰۴
تحلیل خطر اولیه	SA	NA	NA	NA	NA	ب ۰۵
مطالعه خطر و عملکرد(HAZOP)	SA	SA	A[3]	A	A	ب ۰۶
تحلیل خطر و نقاط کلیدی کنترل(HACCP)	SA	SA	NA	NA	SA	ب ۰۷
ارزیابی ریسک محیطی	SA	SA	SA	SA	SA	ب ۰۸
ساختار «چه می‌شود اگر» (SWIFT)	SA	SA	SA	SA	SA	ب ۰۹
تحلیل سناریو	SA	SA	A	A	A	ب ۱۰
تحلیل اثرات تجارت	A	SA	A	A	A	ب ۱۱
تحلیل علل ریشه‌ای	NA	SA	SA	SA	SA	ب ۱۲
تحلیل اثرات آثار خرابی	SA	SA	SA	SA	SA	ب ۱۳
تحلیل درخت خطا	A	NA	SA	A	A	ب ۱۴
تحلیل درخت پیشامد	A	SA	A	A	NA	ب ۱۵
تحلیل علّت - پیامد	A	SA	SA	A	A	ب ۱۶
تحلیل علّت و معلول	SA	SA	NA	NA	NA	ب ۱۷
تحلیل لایه‌های حفاظت(LOPA)	A	SA	A	A	NA	ب ۱۸
درخت تصمیم	NA	SA	SA	A	A	ب ۱۹
تحلیل قابلیت اطمینان انسانی	SA	SA	SA	SA	A	ب ۲۰
تحلیل پاپیونی	NA	A	SA	SA	A	ب ۲۱
قابلیت اطمینان نگهداری مرکزی	SA	SA	SA	SA	SA	ب ۲۲
تحلیل مدار پنهانی	A	NA	NA	NA	NA	ب ۲۳
تحلیل مارکوف	A	SA	NA	NA	NA	ب ۲۴
شبیه‌سازی مونت کارلو	NA	NA	NA	NA	SA	ب ۲۵
آمار بایزین و شبکه‌های بیز	NA	SA	NA	NA	SA	ب ۲۶
منحنی FN	A	SA	SA	A	SA	ب ۲۷
شاخص بررسی ریسک	A	SA	SA	A	SA	ب ۲۸
ماتریس پیامد/احتمال	SA	SA	SA	SA	A	ب ۲۹
تحلیل هزینه/فایده	A	SA	A	A	A	ب ۳۰
تحلیل تصمیم‌گیری چند معیار(MCDA)	A	SA	A	SA	A	ب ۳۱

۱) بسیار کاربردی ۲)غیر کاربردی ۳) کاربردی

جدول الف.۲ – ویژگی‌های انتخاب ابزارهای ارزیابی ریسک

نوع تکنیک ارزیابی ریسک	توضیحات	ارتباط عوامل موثر			توانایی ایجاد نتایج کمّی
		منابع و قابلیت‌ها	ماهیت و درجه عدم اطمینان	پیچیدگی	
روش‌های جستجوگر					
چک‌لیست‌ها	فرم ساده از شناسایی ریسک. تکنیکی که لیستی از عدم‌اطمینان‌های معمول را که نیاز است در نظرگرفته شوند را فراهم می‌کند.	کم	کم	کم	ندارد
تحلیل خطر اولیه	روش تحلیل قیاسی ساده که هدفش شناسایی خطر یا وضعیت و پیشامدهای خطرناک که می‌تواند عامل زیان در فعالیت، تاسیسات یا سیستم داده شده باشد.	کم	بالا	متوسط	ندارد
روش‌های پشتیبان					
مصاحبه منظم و طوفان‌ذهنی	وسیله‌ای برای جمع‌آوری نظرات و ارزشیابی آن‌ها و دسته‌بندی آن‌ها توسط تیم. طوفان‌ذهنی ممکن است با مصاحبه یک‌به‌یک یا یک با چند نفر انجام شده باشد.	کم	کم	کم	ندارد
تکنیک دلفی	ابزاری برای ترکیب نظرات کارشناسان که ممکن است از منابع و اطلاعات شناسایی شده، برآورد پیامدها و احتمالات و سطح ارزشیابی ریسک پشتیبانی کند. تکنیکی اشتراکی برای ایجاد اجماع بین متخصصان است. شامل تحلیل وابستگی و رای گیری از متخصصین است.	متوسط	متوسط	متوسط	ندارد
ساختار SWIFT "what-if"	سیستمی برای به فعالیت گرفتن یک تیم برای شناسایی ریسک. معمولاً در کارگاه ساده شده استفاده می‌شود. معمولاً به تحلیل ریسک و تکنیک‌های ارزشیابی لینک است.	متوسط	متوسط	هیچ	ندارد
تحلیل قابلیت اطمینان انسان HRA	ارزیابی قابلیت اطمینان انسان (HRA) اثرات انسان بر کارکرد سیستم را بررسی می‌کند و می‌تواند برای ارزشیابی خطاهای انسانی تاثیرگذار بر سیستم استفاده شود.	متوسط	متوسط	متوسط	دارد

نوع تکنیک ارزیابی ریسک	توضیحات	ارتباط عوامل موثر			توانایی ایجاد نتایج کمّی
		منابع و قابلیت‌ها	ماهیت و درجه عدم اطمینان	پیچیدگی	
تحلیل سناریو					
تحلیل علل ریشه‌ای	خسارتی که اتفاق افتاده، تحلیل می‌شود تا علل سهیم در حادثه شناسایی و چگونگی بهبود سیستم یا فرآیند برای جلوگیری از حادثه مشابه در آینده بررسی شود. تحلیل شامل کنترل‌های موجود در زمان حادثه و چگونگی بهبود کنترل‌ها است.	متوسط	کم	متوسط	ندارد
تحلیل سناریو	سناریوهای ممکن آینده که از تصوّر یا برونیابی از ریسک‌های فعلی درنظر گرفته شده و فرض می‌شود که هر کدام از این سناریوها می‌تواند اتفاق بیافتد. این می‌تواند رسمی یا غیر رسمی، کمّی یا کیفی باشد.	متوسط	بالا	متوسط	ندارد
ارزیابی ریسک سمیت	مخاطرات شناسایی و تحلیل می‌شوند و راه‌های ممکن که هدف خاصی در معرض خطر قرار گیرد، شناسایی می‌شود. اطلاعات درباره سطح خطر و ماهیت علل خسارت در سطح خاصی از خطر ترکیب می‌گردند تا اندازه احتمال آسیب خاصی که اتفاق می‌افتد، اندازه‌گیری شود.	بالا	بالا	متوسط	دارد
تحلیل اثرات تجارت	تحلیل چگونگی اثرات ریسک اختلالات کلیدی بر عملیات سازمان را فراهم می‌کند و قابلیت‌های مورد نیاز برای مدیریت آن را شناساسیی و اندازه‌گیری می‌کند.	متوسط	متوسط	متوسط	ندارد
تحلیل درخت خطا	تکنیکی که با پیشامد نامطلوب آغاز می‌گردد و تمام راه‌هایی که این اتفاق می‌تواند بیافتد را شناسایی می‌کند. بصورت گرافیکی در نمودار درختی منطقی نمایش داده می‌شود. وقتی درخت خطا ایجاد شد، باید راه‌هایی برای کاهش یا حذف علل /منابع داشته باشد.	بالا	بالا	متوسط	دارد
تحلیل درخت پیشامد	از استدلال استقرایی برای تحلیل پیشامد مختلف ابتدایی به نتایج ممکن استفاده می‌کند.	متوسط	متوسط	متوسط	دارد
تحلیل علّت–پیامد	ترکیبی از تحلیل درخت خطا و تحلیل درخت پیشامد است و شامل زمان تعلل است. علل و پیامدهای پیشامد ابتدایی باید درنظر گرفته شود.	بالا	متوسط	بالا	دارد

نوع تکنیک ارزیابی ریسک	توضیحات	ارتباط عوامل موثر			توانایی ایجاد نتایج کمّی
		منابع و قابلیت‌ها	ماهیت و درجه عدم اطمینان	پیچیدگی	
تحلیل علّت و معلول	تاثیری که می‌توانند عوامل سهیم متعددی را داشته باشد و می‌توانند در دسته بندی‌های مختلفی جا داشته باشند. عوامل سهیم اغلب در طوفان‌ذهنی شناسایی شده و در ساختار درختی یا دیاگرام استخوان ماهی نمایش داده می‌شود.	کم	کم	متوسط	ندارد
تحلیل کارکرد					
FMEA ahd FMCEA	تحلیل آثار شکست و اثرات(FMEA) تکنیک برای شناسایی مکانیسم و حالات خرابی، و اثرات آن‌هااست. انواع مختلفی از FMEA موجود است: FMEA طراحی که برای اجزا و محصولات استفاده می‌شود، سیستم FMEA که برای سیستم‌ها کاربرد دارد،FMEA فرایندی، که برای فرآیندهای ساخت و مونتاژ کاربرد دارد. FMEA سرویس و FMEA نرم‌افزاری. تحلیل FMEA ممکن است با تحلیل بحرانی برای تعریف اهمیت هر حالت شکست بصورت کیفی،کمّی، یا نیمه کمّی(FMECA) ادامه داشته باشد. تحلیل بحرانی می‌تواند بر اساس احتمال حالتی از خرابی که در سیستم شکست را ایجاد می‌کند، یا سطح ریسک همراه با حالت شکست، یا اولویت‌های ریسک باشد.	متوسط	متوسط	متوسط	دارد
نگهداری و تعمیرات بر اساس قابلیت اطمینان	روشی برای شناسایی سیاست‌هایی که باید برای مدیریت خرابی‌ها اجرا گردد تا ایمنی، دسترس پذیری، اقتصاد عملیاتی مورد نیاز موثّر و کارا تامین گردد.	متوسط	متوسط	متوسط	دارد
تحلیل مدار پنهانی	روشی برای شناسایی اشتباهات طراحی. شرایط پنهانی سخت‌افزار، نرم‌افزار یا شرایط ترکیبی نهفته است. که ممکن است باعث پیشامد ناخواسته یا مهار پیشامد مورد نظر شود که ناشی از خرابی اجزا نباشد. این شرایط با ماهیت تصادفی و قابلیت فرار از شناسایی در سخت‌ترین آزمون‌های استاندارد سیستم‌ها مشخص است.شرایط پنهان می‌تواند عامل فعالیت ناصحیح،	متوسط	متوسط	متوسط	ندارد

نوع تکنیک ارزیابی ریسک	توضیحات	ارتباط عوامل موثر			توانایی ایجاد نتایج کمّی
		منابع و قابلیت‌ها	ماهیت و درجه عدم اطمینان	پیچیدگی	
	در دسترس نبودن سیستم، تاخیر برنامه یا حتی مرگ و مصدومیت پرسنل شود. میزان بحران انحرافات مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.				
مطالعات خطر و عملکرد HAZOP	فرآیند کلی شناسایی ریسک به منظور تعریف انحرافات ممکن از عملکرد مورد انتظار یا درنظر گرفته شده است. از سیستم کلمات راهنما استفاده می‌کند. حساسیت انحرافات سنجیده می‌شود.	متوسط	بالا	بالا	ندارد
تحلیل خطر و نقاط کلیدی کنترل HACCP	سیستم نظام مند، فعال، پیشگیرانه برای تضمین کیفیت محصول، قابلیت اطمینان و ایمنی فرآیندها توسط اندازه گیری و نظارت ویژگی‌های مخصوص که نیاز است حدود آن‌ها مشخص شده باشد.	متوسط	متوسط	متوسط	ندارد
ارزیابی کنترل‌ها					
تحلیل لایه‌های حافظتی	(ممکن است تحلیل مانع نیز نامیده شود). کنترل‌ها و اثربخشی آن‌ها را ارزشیابی می‌کند.	متوسط	متوسط	متوسط	دارد
تحلیل پاپیونی	روش نموداری ساده برای تشریح و تحلیل راه‌های ریسک از خطر تا نتایج و بررسی کنترل‌ها. می‌تواند آن را به عنوان ترکیبی از منطق درخت خطا که علل پیشامد را تحلیل می‌کنند (به نمایندگی از گره‌های پاپیون) و درخت پیشامد که پیامدها را تحلیل می‌کند.	متوسط	بالا	متوسط	دارد
روش‌های آماری					
تحلیل مارکوف	تحلیل مارکوف،گاهی اوقات تحلیل حالت–فضا نامیده می‌شود، معمولاً در تحلیل سیستم‌های پیچیده تعمیرپذیر استفاده می‌شود که می‌تواند حالات مختلفی موجود باشد، شامل حالات تخریب مختلف.	بالا	کم	بالا	دارد

نوع تکنیک ارزیابی ریسک	توضیحات	ارتباط عوامل موثر			توانایی ایجاد نتایج کمّی
		منابع و قابلیت‌ها	ماهیت و درجه عدم اطمینان	پیچیدگی	
تحلیل مونت کارلو	این شبیه‌سازی برای ایجاد تغییرات گسترده در نتایج سیستم با تغییرات در سیستم، برای تعدادی از ورودی‌ها، که هر ورودی توزیع تعریف شده ای دارد و مرتبط شدن ورودی‌ها و خروجی‌ها با یک رابطه مشخص باشد. تحلیل می‌تواند برای مدل مشخص که رابطه بین ورودی‌های مختلف بصورت ریاضی تعریف شده است، استفاده گردد. ورودی‌ها می‌توانند بر اساس انواع توزیع مختلف مطابق ماهیتو عدم‌اطمینان باشد. برای ارزیابی ریسک، معمولاً توزیع مثلثی یا بتا استفاده می‌شود.	بالا	کم	بالا	دارد
تحلیل بیز	روش آماری که با بهره گیری از داده‌ها قبل از توزیع برای ارزیابی احتمال نتایج استفاده می‌کند. تحلیل بیز بستگی به دقت نتایج قبل از توزیع برای استنباط دقت نتایج دارد. مدل شبکه‌های بیز علل و آثار را در دامنه‌های مختلف با گرفتن روابط احتمالی از ورودی‌های مختلف برای گرفتن نتیجه استفاده می‌کند.	بالا	کم	بالا	دارد

پیوست ب

تکنیک‌های ارزیابی ریسک

ب.۱ طوفان‌ذهنی[۲]

ب.۱.۱ بررسی اجمالی

طوفان‌ذهنی شامل تشویق و تحریک جریان آزاد گفتگو میان گروهی از افراد با دانش کافی برای شناسایی حالات خرابی بالقوه و مخاطرات، ریسک‌ها، معیارهای تصمیم‌گیری و/یا فعالیت‌هایی برای درمان است. اصطلاح "طوفان‌ذهنی" اغلب بصورت سطحی برای هر نوع مباحثه گروهی استفاده می‌شود. اگرچه طوفان‌ذهنی صحیح شامل تکنیک‌هایی مخصوص و در تلاش برای این است که تصوّر افراد با افکار و اظهارات دیگران در گروه تضمین شود.

تسهیلات موثّر در این تکنیک بسیار مهم است و شامل مهیّج بودن آغاز بحث، سوق‌دادن دوره‌ای گروه در زمینه‌های مرتبط دیگر و تسخیر موضوعات ناشی از بحث‌ها (معمولاً بسیار پر جنب و جوش می‌شود).

ب.۱.۲ کارکرد

طوفان‌ذهنی می‌تواند در ارتباط با روش‌های ارزیابی ریسک که در زیر توضیح داده شده استفاده شود یا به تنهایی برای تشویق تفکر خلاقانه در هر مرحله از فرآیند مدیریت ریسک و از چرخه عمر سیستم استفاده شود. ممکن است در بحث‌های سطح بالا که موضوعات شناسایی شده است، برای بررسی‌های دقیق‌تر یا در سطح جزئیات برای مسائل خاصی استفاده شود.

طوفان‌ذهنی تاکید شدیدی بر تصوّرات دارد. بنابراین بخصوص زمانی مفید است که بخواهیم شناسایی ریسک تکنولوژی‌های جدید، که داده‌های آن وجود ندارد را بررسی کنیم و یا هنگامی که راه‌حل جدید برای مسائل نیاز است.

ب.۱.۳ ورودی‌ها

تیمی از افرادی که در خصوص سازمان، سیستم، فرآیند یا کاربردهایی که باید مورد ارزیابی قرار گیرند، دانش کافی داشته باشند.

ب.۱.۴ فرآیند

طوفان‌ذهنی می‌تواند رسمی یا غیررسمی باشد. طوفان‌ذهنی رسمی ساختاریافته‌تر با شرکت‌کنندگان از پیش تعیین شده و جلسه‌ی دارای اهداف و نتایج تعریف شده، همراه با ابزارهای ارزشیابی نظرات پیشنهادی است. طوفان‌ذهنی غیررسمی ساختاریافتگی کمتر و اغلب بدون طرح هستند.

در فرآیند رسمی:

- مسئول جلسه فعالیت‌های فکری و مفاهیم مناسب را قبل از جلسه آماده می‌کند؛
- اهداف جلسه تعریف و قوانین شرح داده می‌شوند؛

[2] Brainstorming

- مسئول جلسه سلسله‌ای از افکار را شروع می‌کند و هر شخصی به بررسی ایده‌های شناسایی شده به عنوان بسیاری از مسائل که ممکن است می‌پردازد. در این نقطه هیچ بحثی در مورد چیزهایی که باید یا نباید در لیست شوند یا چگونگی معنای اظهارات، وجود ندارد زیرا این‌ها تمایل به مهار جریان آزاد تفکر را دارند. کلیه ورودی‌ها قابل‌پذیرش هستند و هیچ کدام مورد نقد قرار نمی‌گیرند و گروه به سرعت حرکت می‌کند و اجازه می‌دهد ایده‌ها به سمت تفکرات جانبی برود؛
- هنگامی که موضوع بحث کسل کننده یا از موضوع اصلی منحرف شد، مسئول جلسه باید افراد را در مسیر جدیدی قرار دهد. ایده این است که، مجموعه‌ای از ایده‌های گوناگون ممکن را برای تحلیل‌های بعدی جمع‌آوری کنیم.

ب.۵.۱ خروجی‌ها

خروجی‌ها بستگی به مرحله فرآیند مدیریت ریسک دارند برای مثال در مرحله شناسایی، خروجی‌ها می‌تواند لیستی از ریسک‌ها و کنترل‌های موجود باشد.

ب.۶.۱ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت طوفان‌ذهنی شامل موارد زیر است:

- تهییج تصوّرات که به شناسایی ریسک‌های و راه‌حل‌های جدید کمک می‌کند؛
- شامل ذینفعان کلیدی است و از این رو کمک به ارتباط کامل می‌کند؛
- نسبتاً سریع و آسان برای اجرا است.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- شرکت‌کنندگان ممکن است فاقد مهارت و دانش کافی در جهت همکاری موثّر باشند؛
- چون نسبتاً بدون ساختار است، نشان دادن جامع بودن فرآیند بسیار دشوار است و کلیه ریسک‌های بالقوه باید شناسایی شوند.
- ممکن است هنگامی که دیگران بر بحث حاکم می‌شوند، پویایی گروه خاصی که افرادی با نظرات ارزشمند در آن قرار دارند مسکوت بماند. این می‌تواند با طوفان‌ذهنی کامپیوتری ، استفاده از چت فروم‌ها یا تکنیک گروه اسمی، حل شود. طوفان‌ذهنی کامپیوتری می‌تواند بدون‌نام هم برگزار شود، بنابراین از مسائل شخصی و سیاسی که می‌توانند موجب جلوگیری از جریان آزاد عقاید شوند، اجتناب می‌شود. در تکنیک گروه اسمی نظرات بدون‌نام به مدیر منتقل می‌شود و سپس گروه درباره آن بحث می‌کند.

ب.۲ مصاحبه ساختاریافته یا نیمه‌ساختاریافته[3]

ب.۱.۲ بررسی اجمالی

در مصاحبه ساختاریافته، شخص مصاحبه شونده با مجموعه‌ای از فرم‌های شامل سوالات از قبل آماده شده مورد پرسش قرار می‌گیرد و مصاحبه شونده را به مشاهده شرایط و شناسایی ریسک از نماهای مختلف تشویق می‌کند. مصاحبه نیمه‌ساختاریافته نیز به ترتیبی مشابه است، برای گفتگو و بررسی موضوعاتی که پیش می‌آیند، آزادی عمل بیشتری را در اختیار قرار می‌دهد.

[3] Structured or semi-structured interviews

ب.۲.۲ کارکرد

مصاحبه‌های ساختاریافته و نیمه‌ساختاریافته زمانی مفید است که گردآوری افراد برای جلسات طوفان‌ذهنی دشوار باشد یا جریان آزاد بحث در گروه بعلّت شرایط یا اعضای گروه مناسب نباشد. این روش اغلب برای شناسایی ریسک‌ها یا ارزیابی اثربخشی کنترل‌های موجود استفاده می‌شوند، که بخشی از تحلیل ریسک است. همچنین از این روش می‌توان در هر مرحله از پروژه یا فرآیند استفاده کرد. این تکنیک ابزاری را فراهم می‌کند تا ذینفعان بتوانند وارد مرحله‌ی ارزیابی ریسک گردند.

ب.۳.۲ ورودی‌ها

ورودی‌ها شامل موارد زیر است:

- تعریف واضح از اهداف مصاحبه؛
- لیستی از مصاحبه شوندگان که از ذینفعان مرتبط انتخاب شده‌اند؛
- مجموعه‌ای از سوالات آماده شده.

ب.۴.۲ فرآیند

مجموعه‌ای از سوالات مرتبط، برای راهنمایی مصاحبه‌گر ایجاد شده است. سوالات باید تا حد ممکن استدلالی و آزاد[۴]، ساده، در زبان مناسب برای مصاحبه شونده باشند و صرفاً موضوع واحدی را پوشش دهند. همچنین باید سوالات ممکن در رویه پرسشنامه جهت جستجوی بیشتر، آماده شوند.

سپس سوالات با فرد مصاحبه‌شونده مطرح می‌گردد. هنگامی که جزئیات بررسی می‌شود، سوالات باید استدلالی و آزاد باشند. باید مراقب بود مصاحبه شونده "هدایت" نشود.

پاسخ‌ها باید با درجه‌ای از انعطاف‌پذیری درنظرگرفته شوند تا فرصت‌هایی را در بررسی زمینه‌هایی فراهم نمایند که مصاحبه شونده به آن‌ها علاقه دارد.

ب.۵.۲ خروجی‌ها

خروجی‌ها شامل دیدگاه ذینفعان درباره موضوع هدف مصاحبه است.

ب.۶.۲ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت مصاحبه ساختاریافته شامل موارد زیر است:

- مصاحبه ساختاریافته به افراد اجازه می‌دهد که برای تفکر بر روی موضوع زمان داشته باشند؛
- ارتباط یک‌به‌یک اجازه می‌دهد که موضوع عمیق‌تر بررسی شود؛
- مصاحبه ساختاریافته این توانایی را دارد تا نسبت به طوفان‌ذهنی، که گروه کوچک مرتبطی را انتخاب می‌کند، تعداد بیشتری از ذینفعان را استفاده کند.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- برای تسهیل‌گر بسیار زمان‌بر است تا نظرات گوناگون را از این راه بدست آورد؛
- از طریق بحث تعصب‌ها تحمل می‌شوند، از میان نمی‌رویه؛

---

[۴] open-end سوالاتی که جواب آن منحصر به انتخاب جواب صحیح از میان چند گزینه محدود نیست. سوالات تشریحی که بصورت استدلالی و خلاقانه پاسخ داده می‌شود.

- رهاسازی[5] تصوّرات که از ویژگی‌های طوفان‌ذهنی است در این روش حاصل نمی‌شود.

ب.۳ تکنیک دلفی[6]

ب.۱.۳ بررسی اجمالی

تکنیک دلفی رویهی برای بدست آوردن اجماع قابل اطمینان از نظرات گروهی از متخصصان است. هرچند این اصطلاح اغلب بصورت گسترده برای هر صورت از طوفان‌ذهنی استفاده می‌شود، امّا ویژگی اساسی تکنیک دلفی، اگر بصورت صحیح فرموله شده باشد، این است که متخصصین نظرات خود را بدون‌نام و جداگانه بیان می‌کنند، در حالی که به نظرات سایر کارشناسان در طول پیشرفت فرآیند دسترسی دارند.

ب.۲.۳ کارکرد

هنگامی که اجماع نظرات متخصصین مورد نیاز است، تکنیک دلفی می‌تواند در هر مرحله از فرآیند مدیریت ریسک یا چرخه عمر سیستم استفاده شود.

ب.۳.۳ ورودی‌ها

مجموعه‌ای از فعالیت‌هایی که برای اجماع نیاز است.

ب.۴.۳ فرآیند

گروهی از متخصصین با پرسشنامه نیمه‌ساختاریافته سوال می‌شوند. متخصصین یکدیگر را ملاقات نمی کنند، بنابراین نظرات مستقل است.

رویه شامل موارد زیر است:

- تشکیل تیم برای تحت نظر گرفتن و پایش فرآیند دلفی؛
- انتخاب گروهی از متخصصین (می‌تواند یک یا چند پنل از متخصصین باشد)؛
- ایجاد پرسشنامه دور اول؛
- آزمون پرسشنامه؛
- فرستادن پرسشنامه به اعضای پنل بصورت جداگانه؛
- اطلاعات دور اول پاسخ‌ها تحلیل و ترکیب شوند و مجدداً بصورت چرخشی به اعضای پنل برگردانده شوند؛
- اعضای پنل‌ها پاسخ می‌دهند و فرآیند تکرار می‌شود تا اجماع نهایی حاصل شود.

ب.۵.۳ خروجی‌ها

همگرایی درمورد اجماعی که در دست جریان است.

ب.۶.۳ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت شامل موارد زیر است:

- با توجه به اینکه دیدگاه‌ها بدون‌نام است، نظرات با عمومیت کم به احتمال بیشتری بیان می‌شود؛

[5] triggering
[6] Delphi technique

- از آنجایی که دیدگاه‌ها دارای وزن برابر است، مسئله تسلط شخصیت‌ها برطرف می‌شود؛
- دسترسی به مالکیت نتایج وجود دارد؛
- لازم نیست افراد در زمان و در مکان واحدی جمع شوند.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- کاری فشرده و زمان‌بر است.
- شرکت‌کنندگان باید افکار خود را بصورت واضح در نوشته‌هایشان شرح دهند.

ب.۴ چک‌لیست‌ها[7]

ب.۱.۴ بررسی اجمالی

چک‌لیست‌ها لیستی از مخاطرات، ریسک‌ها یا کنترل خرابی‌ها هستند که معمولاً از تجربیات ایجاد می‌شوند، که ناشی از نتایج ارزیابی ریسک یا نتایج خرابی‌های گذشته است.

ب.۲.۴ کارکرد

چک‌لیست می‌تواند برای شناسایی مخاطرات و ریسک‌ها یا ارزیابی اثربخشی کنترل‌ها استفاده شود. آن‌ها می‌توانند در هر مرحله از چرخه محصول، فرآیند یا سیستم استفاده شوند. آن‌ها می‌توانند به عنوان بخشی از سایر تکنیک‌های ارزیابی ریسک استفاده شوند، امّا بیشترین کارایی را زمانی دارند که بعد از یکی ازتکنیک خلاقانه استفاده شود تا بررسی کند که همه جوانب پوشش داده شده است.

ب.۳.۴ ورودی‌ها

اطلاعات قبلی و تخصص بر روی موضوع، مانند چک‌لیست‌های مرتبط و ترجیحاً معتبر که می‌تواند انتخاب یا ایجاد شوند.

ب.۴.۴ فرآیند

رویه به شرح زیر است:

- حیطه فعالیت تعریف می‌شود؛
- چک‌لیست زمانی انتخاب می‌شود که بطور کافی حیطه مورد نظر را پوشش دهد. نیاز است که چک‌لیست‌ها بدقت برای اهداف انتخاب شوند. برای مثال چک‌لیست کنترل استاندارد رانمی‌توان برای شناسایی مخاطرات یا ریسک جدید استفاده کرد؛
- فرد یا تیم استفاده کننده از چک‌لیست هر المان از فرآیند یا سیستم را طی می‌کند و وجود یا عدم وجود آیتم‌های موجود در چک‌لیست را بررسی می‌کند.

ب.۵.۴ خروجی‌ها

بسته به اینکه در کدام مرحله از فرآند مدیریت ریسک از این ابزار استفاده کنیم، خروجی آن می‌تواند متفاوت باشد. به عنوان مثال خروجی می‌تواند لیست کنترل‌های ناکافی یا لیست ریسک‌ها باشد.

ب.۶.۴ نقاط قوت و محدودیت‌ها

[7] Check-lists

نقاط قوت چک‌لیست شامل موارد زیر است:

- می‌تواند توسط افراد غیر متخصص استفاده شود؛
- اگر بطور مناسب طراحی شده باشد، طیف گسترده‌ای از تخصص‌ها را برای استفاده آسان در سیستم ترکیب می‌کند؛
- این تکنیک تضمین می‌کند که مسائل ساده فراموش نمی‌شوند.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- این روش تمایل به مهار تصوّرات در شناسایی ریسک‌ها دارند؛
- این روش با "دانسته‌های معلوم" را مورد خطاب قرار می‌دهد نه با "نادانسته‌های معلوم" یا " نادانسته‌های نامعلوم ".
- این روش "تیک زدن گزینه‌ها[8]" را رفتار تشویق می‌کند.
- این روش بر پایه مشاهدات است، بنابراین ممکن است مسائلی را که به آسانی دیده نمی‌شوند نادیده گرفته شود.

ب.۵ تحلیل خطر اولیه(PHA)[9]

ب.۵.۱ بررسی اجمالی

PHA روش تحلیل ساده قیاسی است که هدف آن شناسایی مخاطرات و شرایط خطرناک و پیشامدهایی است که می‌تواند منجر به خسارت برای فعالیت، تاسیسات یا سیستم موجود شود.

ب.۵.۲ کارکرد

معمولاً در مراحل اولیه توسعه پروژه انجام می‌شود هنگامی که اطلاعات کمّی در مورد جزئیات طراحی یا رویه فعالیت وجود دارد. اغلب می‌تواند پیشرو در مطالعات بیشتر باشد یا اطلاعات برای مشخصات طراحی سیستم فراهم نماید. این روش می‌تواند برای اولویت‌بندی مخاطرات و ریسک‌ها برای تحلیل‌های بیشتر در تحلیل سیستم‌های موجود موثّر باشد یا در مواقعی استفاده شود که استفاده از تکنیک‌های گران مجاز نیست.

ب.۵.۳ ورودی‌ها

ورودی‌ها شامل موارد زیر است:

- اطلاعات در مورد سیستم که باید مورد ارزیابی واقع شوند؛
- مانند جزئیات طراحی سیستم که دردسترس و مرتبط هستند.

ب.۵.۴ فرآیند

لیست مخاطرات و شرایط خطرناک عمومی و ریسک‌هایی که فرموله شده‌اند شامل مشخصاتی مانند:

- موادی که استفاده یا تولید می‌شوند و واکنش‌های آنان؛
- تجهیزاتی که استفاده می‌شود؛
- عوامل محیطی؛

[8] tick the box
[9] Preliminary hazard analysis

- لایه‌ها؛
- رابطه میان اجزای سیستم، غیره.

تحلیل کیفی پیامدهای پیشامد ناخواسته و احتمالات آن‌ها ممکن است برای شناسایی ریسک‌ها جهت ارزیابی‌های بیشتر، انجام شود.

PHA باید در طی مراحل طراحی، ساخت، آزمون به‌روزرسانی شود تا مخاطرات جدید شناسایی شوند و در صورت نیاز اطلاحات انجام شود. نتایج بدست آمده می‌تواند از راه‌های گوناگون مانند جدول یا درخت ارائه شوند.

ب.۵.۵ خروجی‌ها

خروجی‌ها شامل موارد زیر است:

- لیست مخاطرات و ریسک‌ها؛
- توصیه‌هایی برای پذیرش، توصیه‌های کنترل، مشخصات طراحی یا درخواست ارزیابی با دقت بیشتر.

ب.۶.۵ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت شامل موارد زیر است:

- این قابلیت را دارند تا هنگام محدود بودن اطلاعات موجود، استفاده شوند؛
- این روش اجازه می‌دهد که ریسک خیلی سریع وارد چرخه عمر سیستم شود.

محدودیت‌ها شامل:

- PHA فقط اطلاعات اولیه را فراهم می‌کند؛ این روش جامع نیست، اطلاعات دقیق در مورد خطرات و چگونگی جلوگیری از آنان را مشخص نمی‌کند.

ب.۶ HAZOP

ب.۱.۶ بررسی اجمالی

HAZOP نام مخفف از مطالعه خطر و عملکرد[10] است و بررسی منظم و سیستماتیک طرح یا محصول، فرآیند، رویه یا سیستم موجود است. تکنیکی برای شناسایی ریسک برای افراد، تجهیزات، محیط و/یا اهداف سازمان است. از تیم مطالعه انتظار می‌رود، در صورت امکان، راه‌حلی برای درمان ریسک فراهم کنند.

فرآیندHAZOP تکنیک کیفی است بر اساس استفاده از کلمات راهنما بنا شده است که در مقاصد طراحی و یا شرایط عملیاتی که در هر مرحله از طراحی، فرآیند، رویه یا سیستم که قابلیت حصول را ندارد. عموماً توسط تیم چندرشته‌ای در مجموعه‌ای از جلسات صورت می‌پذیرد.

HAZOP مشابه FMEA در شناسایی حالات شکست فرآیند، سیستم یا رویه و علل و پیامدهای آن‌ها است. تفاوت این دو روش در این است که در HAZOP تیم نتایج ناخواسته و انحراف از نتایج طراحی را درنظر گرفته و به دلایل ممکن و حالات خرابی می‌رسد، در صورتی که FMEA با شناسایی حالات خرابی آغاز می‌شود.

ب.۲.۶ کارکرد

[10] Hazard and Operability Study

تکنیک HAZOP در ابتدا برای تحلیل سیستم‌های شیمیایی ایجاد شد امّا در ادامه بر انواع دیگر سیستم‌ها و فعالیت‌های پیچیده بسط یافت. این‌ها شامل سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی و رویه‌ها و سیستم‌های نرم‌افزاری و حتی تغییرات سازمانی و طراحی و بازنگری قراردادهای قانونی است.

فرآیندHAZOP می‌تواند با کلیه حالات انحراف از مقاصد طراحی تا کمبودهای طراحی، اجزا، رویه‌های طراحی و فعالیت‌های انسانی را شامل شود.

این روش بصورت گسترده در بررسی طراحی نرم‌افزارها کاربرد دارد. هنگامی که بر ابزارهای ایمنی حیاتی کنترل و سیستم‌های رایانه‌ای اعمال می‌شود بنام CHAZOP شناخته می‌شود (تحلیل کنترل خطرات و عملکرد یا تحلیل عملکرد یا خطرهای کامپیوتر).

مطالعات HAZOP معمولاً در مرحله طراحی جزئیات اتفاق می‌افتد، هنگامی که نمودار کامل از فرآیند مورد نظر دردسترس باشد، امّا تغییرات در طراحی هنوز امکان داشته باشد. در هر صورت می‌توان، با رویکرد مرحله‌ای، برای هر مرحله از توسعه جزئیات در طراحی استفاده کرد. مطالعات HAZOP می‌تواند در دوره فعالیت سیستم نیز انجام گردد، امّا نیاز به تغییرات در این مرحله گران است.

ب.۳.۶ ورودی‌ها

ورودی‌های اساسی در مورد HAZOP شامل اطلاعات موجود در مورد سیستم، فرآیند یا رویه‌ای که بررسی می‌شود و اهداف و عملکرد مشخصات طراحی است. ورودی‌ها می‌تواند شامل: نقشه‌ها، برگه مشخصات، برگه‌های رویه کار، نمودارهای کنترل فرآیند و منطق، نقشه‌های لایه لایه[11]، رویه نگهداری و عملکرد، و رویه خدمات اضطراری باشد. برای HAZOP غیرسخت‌افزاری، ورودی‌ها می‌تواند شامل مستندات تشریح‌کننده کارکرد و اجزای سیستم یا رویه تحت مطالعه باشد. برای مثال، ورودی‌ها می‌تواند شامل تشریح نقش‌ها و نمودارهای سازماندهی و یا پیش‌نویس قراداد یا حتی پیش‌نویس رویه باشد.

ب.۴.۶ فرآیند

HAZOP، "طراحی" و مشخصات فرآیند، رویه یا سیستم مورد مطالعه را گرفته و هر قسمت را بررسی می‌کند تا انحرافات از عملکرد درنظرگرفته شده که می‌تواند اتفاق بیافتد و علل بالقوه و پیامدهای احتمالی را شناسایی کند. این با بررسی سیستماتیک که هر قسمت از سیستم، فرآیند یا رویه در پاسخ به تغییرات پارامترهای کلیدی توسط کلمات راهنما مناسب بدست می‌آید. کلمات راهنما می‌تواند برای سیستم، فرآیند یا رویه بصورت خاص تعریف شود و یا از کلمات عمومی که در کلیه حالات انحراف مطرح می‌شود استفاده گردد. جدول ب.۱ نمونه‌ای از کلمات راهنما معمول که در سیستم‌های فنی استفاده می‌شود را ارائه می‌دهد. از کلمات راهنما مشابهی مانند "خیلی زود"، "خیلی دیر"، "خیلی زیاد"، "خیلی کم"، "خیلی بلند"، "خیلی کوتاه" ،"جهت اشتباه" ،"هدف اشتباه"، "فعالیت اشتباه"، می‌توان در شناسایی حالات خطاهای انسانی بهره برد.

مراحل معمول در مطالعهHAZOP شامل :

- تعیین فرد با اختیارات و مسئولیت‌های لازم تا مطالعات HAZOP را شکل دهد و اطمینانی جهت کامل بودن مطالعات داشته باشد؛
- تعریف اهداف و حیطه مطالعه؛

[11] Layout drawings

- تعیین مجموعه از کلیدها یا کلمات راهنما برای مطالعات؛
- تعریف کردن تیم مطالعه HAZOP؛ این تیم معمولاً چندرشته‌ای و باید ترکیبی از پرسنل فنی و طراحی با تخصص فنی مناسب برای ارزشیابی اثرات انحراف از طراحی اولیه یا طراحی موجود باشد. پیشنهاد می‌شود که تیم شامل افرادی باشد که مستقیماً در طراحی سیستم و یا فرآیند حضور ندارند.
- جمع آوری مستندات مورد نیاز.

کارگروهی با فعالیت‌های زیر تسهیل می‌شود:

- تجزیه سیستم، فرآیند و یا روش به اجزای کوچکتر یا زیر سیستم‌ها یا فرآیندهای فرعی یا اجزای فرعی تا مطالعه محسوس‌تر باشد.
- بررسی اهداف طراحی برای هر زیر سیستم، فرآیند فرعی یا اجزای فرعی و سپس برای هر آیتم در زیر سیستم، اجزا کلمات راهنما را بترتیب اعمال کرده تا قیاس منطقی انحراف و این که نتایج نامطلوب از کجا ناشی می‌شود، امکان‌پذیر باشد.
- هر کجا نتیجه نامطلوب شناسایی شد، علل و پیامدهای آن در هر مورد بررسی گردد و پیشنهاداتی برای درمان و یا جلوگیری از اتفاق و یا تسکین اثرات در صورت اتفاق آن‌ها داشته باشیم.
- مستند کردن بحث‌ها و بررسی اقدامات خاص در جهت شناسایی ریسک‌ها.

جدول ب.۱ – مثالی از کلمات راهنما در HAZOP

اصطلاح	تعریف
No or not	هیچ قسمتی از نتایج مورد نظر تامین نمی‌شود یا شرایط مورد نظر حاضر نیست
More (higher)	کمیت در خروجی‌ها یا شرایط عملیاتی افزایش می‌یابد
Less(lower)	کمیت کاهش می‌یابد
As well as	کمیت افزایش می‌یابد (به عنوان مثال مواد اضافه شده)
Part of	کمیت کاهش می‌یابد (به عنوان مثال یک یا دو مولفه در ترکیب)
Reverse/opposite	مخالف (به عنوان مثال جریان برگشتی)
Other than	هیچ قسمت از مقاصد حاصل نمی‌شود، بعضی موارد کاملاً متفاوت اتفاق می‌افتد.
Compatibility	مواد؛ محیط زیست
کلمات راهنما استفاده می‌شوند برای پارامترهایی مانند:	
	مشخصات فیزیکی ماده یا فرآیند
	شرایط فیزیکی مانند دما، سرعت
	مقاصد مشخص مولفه‌ای از سیستم یا طراحی (به عنوان مثال جابه جایی اطلاعات)
	جنبه‌های عملیاتی

ب.۵.۶ خروجی‌ها

دقایق جلسات HAZOP برای هر آیتم در هر بررسی ثبت می‌شود. این می‌تواند شامل: کلمات راهنمایی که استفاده می‌شود، انحراف، علل ممکن، فعالیت‌هایی که در شناسایی مسائلی که با آن مواجه می‌شویم و مسئولیت‌های اشخاص در فعالیت‌ها باشد.

برای هر انحرافی این‌ها نمی‌تواند صادق باشد، بنابراین ریسک هر انحرافی باید ارزشیابی گردد.

ب.۶.۶ نقاط قوت و محدودیت‌ها

تحلیل HAZOP مزایا زیر را در بر خواهد داشت:

- فراهم‌آوردن ابزاری برای بررسی سیستماتیک و کامل سیستم، فرآیند یا رویه؛
- شامل تیم چندرشته‌ای است که تجربه واقعی عملیاتی آن‌ها قابلیت این را دارد که اقدامات درمانی را انجام دهند؛
- راه‌حل و اقدامات درمان ریسک را تولید می‌کند؛
- در طیف گسترده‌ای از سیستم‌ها، فرآیندها، و رویه‌ها قابل کاربرد است؛
- برای علل و پیامدهای خطاهای انسانی ملاحظاتی صریح را ارئه می‌دهد؛
- مدرک نوشته شده از رویه پروژه آماده می‌شود که تلاش صورت گرفته را به نمایش می‌گذارد.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- تحلیل جزئیات می‌تواند خیلی زمان‌بر و بنابراین گران باشد؛
- تحلیل دقیق نیاز به سطح بالایی از مستندات یا مشخصات سیستم، فرآیند و رویه دارد.
- می‌تواند بر راه‌حلی برای جزئیات تاکید کند تا به بررسی پیش‌فرض‌های اساسی بپردازد (اگرچه، این می‌تواند با رویکرد فازی تسکین یابد)؛
- بحث‌ها می‌تواند بر موضوعات جزئی طراحی تمرکز کند و نه بر موضوعات وسیع‌تر یا خارجی؛
- این روش با پیش فرض‌های طراحی، مقاصد طراحی، و حوزه‌ها و اهداف تعریف شده برای تیم محدود شده است؛
- فرآیند بصورت شدید وابسته به تخصص طراحان است و این بسیار دشوار است تا مسائلی که مانع از رسیدن به اهداف طراحی می‌شوند را شناسایی کنند.

ب.۷.۶ سند مرجع

IEC 61882, Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide

ب.۷ تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی (HACCP)[۱۲]

ب.۷.۱ بررسی اجمالی

تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی (HACCP) ساختاری برای شناسایی مخاطره و ایجاد کنترل‌های در محل در کلیه قسمت‌های مرتبط فرآیند برای حفاظت در برابر مخاطره و نگهداری قابلیت کیفیت و ایمنی محصولات فراهم می‌کند. هدف HACCP تضمین حداقل شدن ریسک‌ها توسط کنترل‌ها در طول فرآیند و نه از طریق بازرسی محصول نهایی، است.

ب.۷.۲ کارکرد

HACCP برای تضمین کیفیت غذایی برنامه فضایی ناسا[۱۳] ایجاد شد. در حال حاضر توسط سازمان‌هایی که در هر مرحله از زنجیره غذایی دخالت دارند برای کنترل ریسک‌های فیزیکی، شیمیایی یا آلودگی‌های بیولوژیک غذایی استفاده می‌شود. این روش همچنین در تولیدات دارویی و صنایع پزشکی گسترش یافته است. اصل شناسایی

[12] Hazard analysis and critical control points
[13] NASA

چیزهایی است که می‌تواند کیفیت محصول را تحت تاثیر قرار دهد، و نقاطی را در فرآیند تعریف کند که پارامترهای بحرانی بتوانند پایش و مخاطرات کنترل شوند، و می‌تواند به دیگر تکنیک‌های سیستمی دیگر عمومیت داد.

ب.۳.۷ ورودی‌ها

HACCP از نمودار اساسی جریان یا نمودار فرآیند و اطلاعات مخاطرات موثر بر کیفیت، ایمنی یا اطمینان محصول یا خروجی فرآیند آغاز می‌شود. اطلاعات مخاطرات و ریسک آن‌ها و راه‌هایی که می‌توانند کنترل شوند ورودی برای HACCP هستند.

ب.۴.۷ فرآیند

HACCP شامل هفت اصل است:

- شناسایی خطرات و تدابیر پیشگیرانه مرتبط با آن خطرات؛
- تعیین نقاطی از فرآیند که مخاطرات می‌تواند کنترل یا حذف شوند (نقاط کنترل بحرانی یا CCPs)[۱۴]؛
- برقراری حدود بحرانی که برای کنترل مخاطرات نیاز است؛ هر CCP باید به پارامترهای خاص خود برای اطمینان از کنترل خطر عمل کند.
- برقراری سیستم پایش برای هر CCP در فواصل زمانی تعریف شده؛
- برقراری اقدامات اصلاحی اگر فرآیند خارج از محدوده ایجاد شده باشد؛
- برقراری رویه‌های اعتباری؛
- ایجاد مستندسازی و حفظ مدارک برای هر مرحله.

ب.۵.۷ خروجی‌ها

ثبت مستندات شامل برگه‌های تحلیل خطر و طرح HACCP است.

برگه‌های لیست تحلیل خطر برای هر مرحله از فرآیند:

- خطراتی که می‌تواند در این مرحله شناسایی شده، کنترل شده یا از کنترل خارج شوند؛
- چگونگی ایجاد ریسک مهم توسط مخاطرات (بر پایه پیامدها و احتمالات از ترکیب تجربیات، داده و ادبیات تکنیکی)؛
- توجیهات برای اهمیت؛
- تدابیر پیشگیرانه ممکن برای هر مخاطره؛
- چگونگی پایش یا تدابیر کنترلی که در این مرحله اجرا می‌شود.

طرح HACCP رویه‌ایی که باید برای تضمین کنترل مشخصات طراحی، محصول، فرآیند یا رویه ادامه یابد را تعیین می‌کند. طرح شامل لیستی از CCP هاست و هر CCP:

- حدود بحرانی برای تدابیر پیشگیرانه؛
- پایش و مستمر بودن فعالیت‌های کنترلی (شامل چه، چگونه، چه زمانی پایش صورت پذیرد و توسط چه کسی)؛
- اقدامات اصلاحی مورد نیاز اگر انحرافی از محدوده بحرانی شناسایی شده باشد؛

[14] The critical control points

- مستندسازی و نگهداشت مدارک فعالیت‌ها؛

ب.۶.۷ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت شامل موارد زیر است:

- فرآیند منظم که شواهد مستندی را برای کنترل کیفیت مانند شناسایی و کاهش ریسک‌ها، فراهم می‌کند؛
- تمرکز بر این دارد که چگونه و چه‌جایی، در فرآیند، مخاطرات می‌توانند پیشگیری و ریسک‌ها کنترل شوند؛
- کنترل بهتر در طول فرآیند نسبت به بررسی محصول نهایی؛
- توانایی شناسایی مخاطرات تعریف شده ناشی از فعالیت‌های انسان و چگونگی کنترل آن‌ها در نقطه معرفی شده یا پس از آن؛

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- HACCP نیاز به این دارد که مخاطرات شناسایی شوند، ریسک‌هایی که آن‌ها ایجاد کرده‌اند تعریف شوند، و اهمیت آن‌ها به عنوان ورودی در فرآیند درک شود. کنترل‌های مناسب تعریف شوند. این‌ها ملزم به تعیین نقاط کنترل بحرانی و پارامترهای کنترل در طول HACCP هستند و ممکن است نیاز باشد برای محقق شدن این امر، ابزارهای دیگری استفاده شوند؛
- هنگامی که پارامترهای کنترل فراتر از محدوده تعریف شده برویه ممکن است تغییرات تدریجی در پارامترهای کنترل نادیده گرفته شوند که از نظر آماری مهم است و حتی منجر به فعالیت می‌شود.

ب.۷.۷ سند مرجع

ISO 22000, Food safety management systems – Requirements for any organization in the food chain

ب.۸ ارزیابی سمیت[15]

ب.۱.۸ بررسی اجمالی

ارزیابی ریسک محیط زیست که در اینجا استفاده می‌شود، فرآیندی است که ارزیابی ریسک در گیاهان، حیوانات یا انسان‌ها را به عنوان نتیجه در معرض قرار گرفتن طیف مخاطرات زیست محیطی پوشش می‌دهد. مدیریت ریسک اشاره به مراحل تصمیم‌گیری شامل ارزشیابی ریسک و درمان ریسک دارد.

روش شامل تحلیل مخاطرات یا منابع مضر و چگونگی اثرات آن بر جمعیت هدف، و مسیرهای ممکن دسترسی مخاطره به جمعیت هدف حساس است. این اطلاعات سپس ترکیب می‌شوند تا تخمینی از اندازه احتمال و ماهیت خسارت ارائه دهند.

ب.۲.۸ کارکرد

این فرآیند برای ارزیابی ریسک گیاهان، حیوانات و انسان‌ها استفاده می‌شود که در معرض مخاطراتی مانند شیمیایی، میکروارگانیسم یا دیگرگونه‌ها قرار دارند.

[15] Toxicity assessment

جنبه‌های روش‌شناسی، مانند تحلیل مسیر که راه‌های مختلف که هدف می‌تواند در معرض منبع ریسک قرار بگیرد را بررسی می‌کند. می‌تواند فراتر از سلامت انسان و محیط زیست تعمیم یابد و در سراسر طیف وسیع محدوده‌های ریسک متفاوت و در شناسایی درمان برای کاهش ریسک استفاده شود.

ب.۳.۸ ورودی‌ها

این روش به داده‌های مناسب در مورد ماهیت و مشخصات مخاطرات، حساسیت جمعیت(جمعیت‌ها) هدف و راه‌های تعامل این دو نیاز دارد. این داده‌ها معمولاً بر پایه تحقیقات، آزمایشگاهی یا اپیدمولوژیک، هستند.

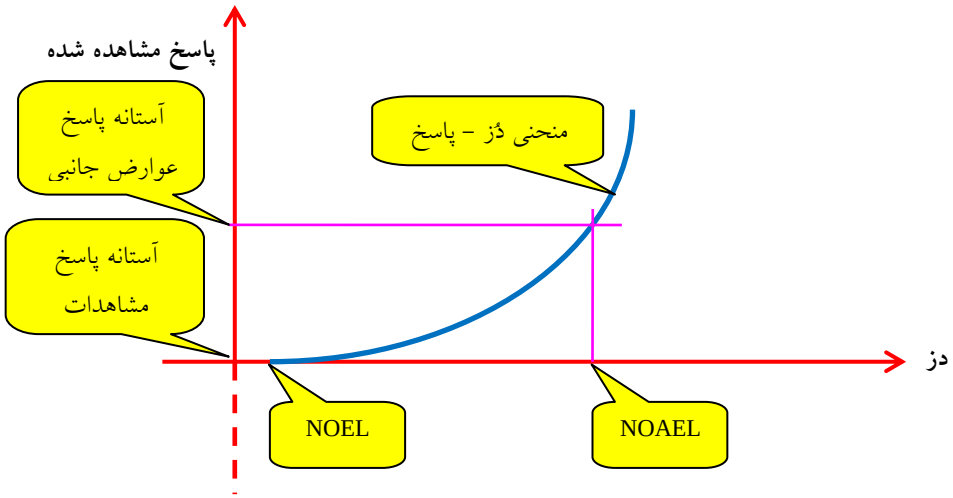
ب.۴.۸ فرآیند

رویه به شرح زیر است:

أ) فرموله کردن مسئله– این شامل تعیین اهداف ارزیابی با تعریف طیف جمعیت هدف و انواع مخاطرات مورد انتظار است.

ب) شناسایی مخاطرات– این شامل شناسایی کلیه منابع ممکن خسارت برای جمعیت هدف، از مخاطراتی است که در حیطه مطالعه هستند. شناسایی مخاطرات معمولاً متکی بر دانش تخصصی و بررسی ادبیات است؛

ت) تحلیل مخاطره – شامل درک ماهیت مخاطره و چگونگی تاثیر آن بر هدف است. برای مثال، در معرض اثرات شیمیایی قرار گرفتن انسان، می‌تواند شامل سمیت حاد و مزمن، پتانسیل آسیب به DNA، علّت بالقوه سرطان یا نقایص مادرزاد باشد. برای هر اثر خطرناک، مقدار اثرات (پاسخ‌ها) با میزان مخاطره‌ای که هدف در معرض آن قرار گرفته (دُز) مقایسه می‌شود، و اگر ممکن است مکانیسمی که این اثر را تولید می‌کند، شناسایی می‌شود. سطوحی که در آن هیچ اثر قابل مشاهده‌ای وجود ندارد(NOEL) و سطحی که هیچ اثر جانبی قابل مشاهده نیست (NOAEL) مشخص می‌شود. در شرایطی این‌ها به عنوان معیارهایی برای پذیرش ریسک استفاده می‌شود.



شکل ب.۱ – منحنی دُز – پاسخ

برای خطرات شیمیایی، نتایج آزمون برای استخراج منحنی دُز– پاسخ استفاده می‌شود. مانند نمونه‌ای که در شکل ب.۱ نشان داده شده است. این نتایج معمولاً از آزمایش بر روی حیوانات یا از سیستم‌های آزمایشگاهی مانند بافت یا سلول کشت شده، استخراج می‌شوند.

اثرات دیگر خطرات مانند میکروارگانیسم‌ها یا گونه‌های شناخته شده می‌تواند از داده‌های موجود و مطالعات اپیدمی تعیین شود. ماهیت روابط بیماری‌ها و سموم با هدف، تعیین می‌شود و احتمال مشخص سطح خسارت که در معرض خطر خاص قرار می‌گیرند، تخمین زده می‌شود.

ث) تحلیل موقعیت – این مرحله تعیین می‌کند چگونه ماده خطرناک یا باقیمانده‌های آن و با چه میزانی می‌تواند به جمعیت هدف حساس برسد. اغلب شامل تحلیل مسیر، علل مختلف ایجاد مخاطره، موانعی که می‌تواند از دسترسی آن به هدف جلوگیری کند و عواملی موثّر بر موقعیت قرارگیری، هستند. برای مثال، با درنظر گرفتن ریسک پخش شیمیایی، تحلیل موقعیت می‌تواند شامل میزان ماده شیمیایی پخش شده، راه‌ها و شرایطی که انسان‌ها و حیوانات بصورت مستقیم در معرض قرار می‌گیرد، چه میزان از عمر باقیمانده گیاهان می‌کاهد، سرنوشت محیط زیست از سموم که به زمین می‌رسند، نحوه تجمع در جانوران یا ورود به آب‌های زیرزمینی باشد. در ایمنی زیست محیطی، تحلیل مسیر ممکن است شامل چگونه سم می‌تواند به محیط وارد شود، می‌تواند وارد محیط زیست شود، مستقر شود و گسترش یابد.

ج) مشخصات ریسک – در این مرحله، اطلاعات از تحلیل مخاطره و تحلیل موقعیت با هم جمع می‌شوند تا احتمال پیامد خاصی هنگامی که اثرات از کلیه راه‌ها ترکیب می‌شود، تخمین زند. اگر تعداد زیادی مخاطره یا مسیر موجود بود، غربالگری اولیه انجام شود و تحلیل مخاطرات و موقعیت دقیق‌تر و خصوصیات ریسک در سناریوهای ریسک بالاتر انجام می‌پذیرد.

ب.۵.۸ خروجی‌ها

به طور معمول خروجی، شاخص سطح ریسک از در معرض قرار گرفتن هدف خاصی در مقابل خطر مخصوص در زمینه مرتبط است. ریسک می‌تواند کمّی، نیمه‌کمّی یا کیفی بیان گردد. برای مثال، ریسک سرطان اغلب بصورت احتمال کمّی بیان می‌گردد، شخص ممکن است سرطان بگیرد اگر بیشتر از دوره مشخصی در معرض آلودگی خاص قرار بگیرد. تحلیل نیمه‌کمّی ممکن است برای استخراج شاخص آلودگی یا سم خاصی بکار رود و نتیجه کیفی می‌تواند سطح ریسک (بالا، متوسط، کم) یا شرح داده‌های عملی از شرایط احتمالی باشد.

ب.۶.۸ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقطه قوت این تحلیل این است که درک بسیار دقیق از ماهیت مسئله و عواملی که ریسک را افزایش می‌دهند،ارائه می‌کند.

تحلیل مسیر، ابزاری مفید برای کلیه سطح خطرات است و اجازه شناسایی چگونگی و کجایی بهبود کنترل‌های ممکن یا ایجاد کنترل جدید را می‌دهد.

با این حال، نیاز به داده‌های مناسب که اغلب دردسترس نیستند یا سطح بالایی از عدم‌اطمینان همراه این روش است. برای مثال، منحنی دُز- پاسخ که از قرارگیری حیوانات در سطح بالای خطر ایجاد شده است برونیابی می‌شود تا تخمین اثر آلودگی با سطح پایین بر انسان بسدت آید و مدل‌های گوناگونی برای این امر این وجود دارد. وقتی که محیط زیست هدف اصلی است و خطرات شیمیایی نیستند، داده‌های مرتبط مستقیم با شرایط مخصوص مطالعه می‌توانند محدود باشند.

ب.۹ تکنیک ساختارمند "چه می‌شود اگر"(SWIFT)[16]

ب.۹.۱ بررسی اجمالی

SWIFT در اصل به عنوان جایگزینی ساده برای HAZOP ایجاد شده است. مطالعه سیستماتیک و تیمی است، که از مجموعه کلمات و عبارات "سریع" که توسط تسهیل‌گر در کار گروهی، برای تشویق شرکت‌کنندگان جهت شناسایی ریسک استفاده می‌کند. تسهیل‌گر و تیم از انواع عبارات استاندارد "چه می‌شود اگر" در ترکیب با عبارات سریع برای تحقق چگونگی تاثیر انحرافات بر عملیات و رفتار نرمال سیستم، مجموعه، سازمان یا رویه استفاده می‌کنند.SWIFT معمولاً در سطح سیستم‌ها با جزیئات کمتری نسبت به HAZOP استفاده می‌شود.

ب.۹.۲ کارکرد

SWIFT در اصل برای مطالعه خطر مجموعه‌های شیمیایی و پتروشیمی طراحی شده بود، در حال حاضر بصورت گسترده در سیستم‌ها، مجموعه‌ها، و بخصوص سازمان‌ها به کار می‌رود.

بصورت خاص برای بررسی پیامدهای تغییرات و ریسک‌های متحول شده و یا بوجود آمده از این تغییرات استفاده می‌شود.

ب.۹.۳ ورودی‌ها

سیستم، رویه، مجموعه و/یا تغییرات با دقت تعریف شده قبل از مطالعه می‌تواند مقدمه باشد. هر دو زمینه درونی و بیرونی از طریق مصاحبه و از طریق مطالعه اسناد، طرح‌ها و نقشه‌ها توسط تسهیل‌گر ایجاد می‌شوند. معمولاً آیتم، شرایط یا سیستم برای مطالعه به گره‌ها و اجزای کلیدی تجزیه می‌شوند تا فرآیند تحلیل را ساده کنند امّا در سطح تعاریفی که برای HAZOP نیاز است این به ندرت اتفاق می‌افتد.

یکی دیگر از ورودی‌های اصلی، تخصص و تجربه موجود در تیم مطالعه است که باید بدقت انتخاب شود. کلیه ذینفعان با تجربیاتی که در آیتم‌ها، سیستم‌ها، تغییرات یا شرایط مشابه داشته‌اند، در صورت امکان با هم حضور یابند.

ب.۹.۴ فرآیند

فرآیند کلی به شرح زیر است:

أ. قبل از آغاز مطالعه، تسهیل‌گر لیست کلمات و عبارات سریع را تهیه می‌کند که می‌تواند از مجموعه استاندارد باشد یا ایجاد شده باشد و برای بررسی جامع خطرات و ریسک‌ها قابل کاربرد باشد.

ب. در کار گروهی زمینه‌های بیرونی و درونی آیتم، سیستم، تغییرات یا وضعیت و حیطه مطالعه مورد بحث و توافق قرار می‌گیرد.

ت. تسهیل‌گر از شرکت کنندگان سوال می‌کند در مورد:

- ریسک‌ها و مخاطرات شناخته شده؛
- تجربیات و رویدادهای گذشته؛
- کنترل‌ها و حفاظت‌های موجود و شناخته شده؛
- الزامات قانونی و محدودیت‌ها.

[16] Structured “What-if” Technique (SWIFT)

ث. بحث با ایجاد سوالاتی که از عبارت "چه می‌شود اگر" و کلمات یا موضوعات سریع، ساده می‌شود. عبارت "چه می‌شود اگر" می‌تواند با عبارتی مانند " اگر روی دهد..."، "اگر اتفاق خاصی روی دهد..."، "شخص یا چیزی می‌تواند ..."، " شخص یا چیزی تا حال..." جایگزین شود تا تیم مطالعه را تحریک به شناسایی سناریوهای بالقوه، علل و پیامدهای آن کند.

ج. ریسک‌ها خلاصه می‌شوند و تیم کنترل‌های موجود را درنظر می‌گیرد.

ح. تشریح ریسک، علل، پیامدها و کنترل‌های مورد انتظار توسط تیم، تایید شده و ثبت می‌شوند.

خ. تیم کافی بودن و اثربخشی کنترل‌ها را بررسی می‌کند و در مورد سطح اثربخشی کنترل‌ها به توافق می‌رسد. اگر کمتر از سطح رضایت‌بخش بود، تیم درمان ریسک رضایت‌بخشی را درنظرگرفته و کنترل‌های بالقوه را تعریف می‌کند.

د. در طول بحث سوالات 'چه می‌شود اگر' برای شناسایی ریسک‌های بیشتر، مطرح می‌شوند.

ذ. تسهیل‌گر از لیست کلمات سریع برای پایش بحث و پیشنهاد موضوعات و سناریوهای بیشتر در جهت مباحثه در تیم، استفاده می‌کند.

ر. که استفاده از تکنیک ارزیابی ریسک کیفی یا نیمه‌کمّی برای رتبه‌بندی اولویت‌های اقدامات انجام شده معمول است. این ارزیابی ریسک معمولاً با درنظر گرفتن کنترل‌های موجود و اثربخشی آن‌ها، صورت می‌پذیرد.

ب.۵.۹ خروجی‌ها

خروجی شامل ریسک‌های ثبت شده و فعالیت‌های رتبه‌بندی شده است. این فعالیت‌ها می‌توانند سپس اساسی برای طرح درمانی باشند.

ب.۶.۹ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت SWIFT:

- بصورت گسترده‌ای قابل کاربرد در کلیه حالات مجموعه‌ها یا سیستم‌های فیزیکی، وضعیت یا شرایط، سازمان یا فعالیت؛
- به آمادگی حداقلی تیم نیاز دارد؛
- نسبتاً سریع است و خطرات و ریسک‌های اصلی بسرعت در جلسات کار گروهی آشکار می‌گردند؛
- مطالعه "جهت‌گیری سیستمی" است و اجازه می‌دهد تا شرکت‌کنندگان پاسخ سیستم به انحرافات را بیشتر از، بررسی پیامدهای خرابی اجزا داشته باشند؛
- می‌تواند برای شناسایی فرصت‌ها در جهت بهبود فرآیندها و سیستم‌ها استفاده شود و در کل برای شناسایی فعالیت‌هایی استفاده می‌شود که به افزایش احتمال موفقیت منجر می‌شوند؛
- کارگروهی شامل افرادی است که برای کنترل‌های موجود پاسخگو هستند و برای اقدامات درمانی بیشتر، تقویت مسئولیت‌ها با خود آن‌هاست؛
- ثبت ریسک و طرح درمانی ریسک را با تلاش کمّی ایجاد می‌کند؛
- اغلب زمانی که حالت کیفی یا نیمه‌کمّی برای درجه‌بندی ریسک در ارزیابی ریسک یا اولویت‌بندی نتایج فعالیت استفاده شده است، SWIFT می‌تواند برای تبدیل مخاطرات و ریسک‌های شناخته شده به مطالعات کمّی استفاده شود.

محدودیت‌های SWIFT :

- برای کارا بودن نیاز به تسهیل‌گر با تجربه و توانا دارد؛
- آمادگی دقیقی نیاز است تا زمان کارگروهی تیم تلف نشود؛
- اگر تیم کارگروه، پایه تجربی کافی را نداشته باشند یا سیستم کار جامع نباشد، بعضی از مخاطرات و ریسک‌ها ممکن است شناسایی نشوند؛
- کاربرد سطح بالا این تکنیک ممکن است علل پیچیده، جزئی و روابط را آشکار نکند.

ب.۱۰ تحلیل سناریو[۱۷]

ب.۱.۱۰ بررسی اجمالی

تحلیل سناریو نامی است که به روش توصیفی داده شده است که چگونگی تغییرات ممکن آینده را بررسی می‌کند. این روش می‌تواند برای شناسایی ریسک‌ها با درنظرگرفتن توسعه‌ها و بررسی‌های آینده استفاده شود. مجموعه سناریو "بهترین حالت"، "بدترین حالت"، و "حالت مورد انتظار" را منعکس می‌نماید. می‌تواند برای تحلیل پیامدهای بالقوه و احتمالات آن‌ها در هر سناریو به عنوان تحلیل حساسیت در زمان تحلیل ریسک استفاده شود.

قدرت تحلیل سناریو، با تغییرات بزرگی که در ۵۰ سال گذشته در تکنولوژی، سلایق مصرف‌کنندگان، نگرش‌های اجتماعی و غیره ایجاد شده است، نشان داده شده است. تحلیل سناریو نمی‌تواند احتمال تغییرات را پیش‌بینی کند امّا می‌تواند شامل پیامدها باشد و به سازمان‌ها کمک کند تا نقاط قوت خود را افزایش داده و انعطاف پذیری مورد نیاز را برای انطباق با تغییرات پیش‌بینی‌شده بوجود آورند.

ب.۲.۱۰ کارکرد

تحلیل سناریو می‌تواند پیشتیبانی برای ایجاد سیاست‌های تصمیم‌گیری و طراحی استراتژی‌های آینده با درنظرگیری فعالیت‌های موجود باشد. می‌تواند به عنوان بخشی از سه قسمت ارزیابی ریسک باشد. برای شناسایی و تحلیل ریسک، مجموعه سناریوهای بهترین حالت، بدترین حالت و حالت مورد انتظار می‌تواند برای شناسایی اتفاقاتی که تحت شرایط خاصی ممکن است روی دهد، استفاده گردد و پیامدهای بالقوه و احتمالات را برای هر سناریو تحلیل کرد.

تحلیل سناریو ممکن است برای پیش‌بینی بوجود آمدن تهدیدات و فرصت‌های احتمالی استفاده شود و می‌تواند برای کلیه حالات ریسک در دو چارچوب کوتاه و بلندمدت استفاده گردد. در چارچوب کوتاه‌مدت و داده‌های مناسب، احتمالات سناریو از برونیابی حالت موجود استفاده می‌شود. برای چارچوب‌های بلندمدت یا داده‌های ضعیف، تحلیل سناریو بیشتر خلاقانه می‌شود و می‌تواند به تحلیل‌های آینده ارجاع داده شود.

تحلیل سناریو هنگامی مفید است که تفاوت‌های توزیعی شدیدی بین خروجی‌های مثبت و خروجی‌های منفی در فضا، زمان و گروه جامعه یا سازمان وجود دارد.

ب.۳.۱۰ ورودی‌ها

پیش‌نیاز لازم برای تحلیل سناریو تیمی از افرادی است که در بین آن‌ها درکی از ماهیت تغییرات مرتبط (پیشرفت‌های ممکن در تکنولوژی) و تفکر خلاقانه در مورد آینده، بدون آنکه لزوماً از گذشته برونیابی کنند،

[17] Scenario analysis

موجود باشد. همچنین دسترسی به ادبیات و دادهایی در مورد تغییراتی که درحال حاضر اتفاق می‌افتد، می‌تواند مفید باشد.

ب.۴.۱۰ فرآیند

ساختار برای تحلیل سناریو می‌تواند رسمی یا غیررسمی باشد.

ایجاد تیم و کانال‌های ارتباطی مرتبط و درنظرگرفتن تعریف زمینه‌های مسئله و موضوع گام اول است، مرحله بعد شناسایی ماهیت تغییراتی است که ممکن است روی دهد. نیاز به پژوهش در روندهای عمده و زمان احتمالی تغییرات وجود دارد همان‌گونه که به تفکر خلاقانه در مورد آینده نیاز دارد.

تغییراتی که درنظر گرفته می‌شوند شامل:

- تغییرات بیرونی (مانند تغییرات تکنولوژیک)؛
- تصمیماتی که نیاز است در آینده نزدیک گرفته شود امّا ممکن است خروجی‌های متفاوتی را داشته باشد؛
- نیازهای ذینفعان و چگونگی تغییرات ممکن درآن‌ها؛
- تغییرات در محیط کلان (مقرّرات، جمعیت‌شناسی و غیره) که بعضی‌ها اجتناب‌ناپذیر و بعضی‌ها عدم قطعی خواهند بود.

گاهی اوقات، تغییرات ممکن است منجر به پیامدهایی در دیگر ریسک‌ها شود. برای مثال، ریسک تغییرات آب و هوایی تغییراتی را در تقاضای مصرف‌کنندگان مرتبط با غذا ایجاد می‌کند. این می‌تواند بر غذاهایی که برای صادرات سودآور هستند تاثیر بگذارد همانگونه که بر غذاهای محلی تاثیر می‌گذارد.

اکنون عوامل یا روندهای کلان و محلی می‌تواند برای رتبه‌بندی (۱)اهمیت (۲) عدم‌اطمینان لیست شود. توجه ویژه متوجه عواملی می‌شود که مهمترین و دارای بیشترین عدم‌اطمینان هستند. عوامل یا روندهای اساسی در مقابل یکدیگر بررسی می‌شوند تا محیط توسعه سناریو را، نشان دهند.

مجموعه‌ای از سنایوها تعریف می‌شوند که هر کدام بر تغییرات قابل قبولی در پارامترها تمرکز کرده‌اند.

یک "داستان" سپس برای هر سناریو نوشته می‌شود که چگونگی حرکت از این نقطه تا اهداف سناریو را بیان می‌کند. این داستان می‌تواند شامل جزئیات قابل قبول باشد که این به ارزش سناریو می‌افزاید.

سناریو می‌تواند سپس برای آزمون یا ارزشیابی سوال اصلی استفاده شود. آزمون هر عامل مهم امّا قابل پیش‌بینی را وارد کرده (الگوهای مختلف) و سپس "موفقیت" سیاست(فعالیت) سناریو جدید بررسی می‌شود، و نتایج "پیش‌آزمون" که با سوالات "چه می‌شود اگر" ایجاد شده اساسی برای فرضیات مدل می‌شود.

هنگامی که سوالات یا پروپوزال با توجه به جنبه‌های هر سناریو ارزشیابی شد، ممکن است نیاز به تغییرات برای تقویت یا کمتر کردن ریسک‌ها مشاهده شود. همچنین باید بعضی از شاخص‌های پیشرو که زمان وقوع تغییرات را نشان می‌دهند، تا جای ممکن شناسایی شوند. پایش و پاسخگویی به شاخص‌های پیشرو می‌تواند فرصت‌هایی برای تغییرات در استراتژی طرح‌ها فراهم نماید.

از آنجا که سناریو "تکه‌ای" از آینده ممکن را تعریف می‌کند، اطمینان از احتمال خروجی خاصی که اتفاق می‌افتد برای انطباق با چارچوب ریسک بااهمیت است. به عنوان مثال هنگامی که سناریوهای بهترین، بدترین و حالت مورد انتظار استفاده می‌شوند، تلاش‌هایی باید صورت گیرد تا احتمال وقوع هر کدام از سناریوها را تعیین کند.

ب.۵.۱۰ خروجی‌ها

شاید مناسب‌ترین سناریو موجود نباشد امّا یکی از آن‌ها درک واضحی از طیف فعالیت‌ها و چگونگی اصلاح رویه انتخاب شده فعالیت‌ها به عنوان شاخص حرکت دارد.

ب.۶.۱۰ نقاط قوت و محدودیت‌ها

تحلیل سناریو طیفی از آینده‌های ممکن را درنظر می‌گیرد که ممکن است به رویکردهای سنتی، که از طریق استفاده از داده‌های تاریخی، پیش‌بینی‌های زیاد- متوسط- کم را فرض می‌کند و پیشامدهای آینده را ادامه ممکن از روند گذشته می‌دانند، ترجیح داشته باشد. برای شرایطی که دانش موجود اندکی برای پیش‌بینی‌ها وجود دارد یا ریسک‌ها زمان آینده طولانی‌تری را درنظر می‌گیرند، بسیار با ارزش است.

این نقطه قوت البته نقطه ضعفی همراه خود دارد و آن این است که در بعضی از سناریوها عدم‌اطمینان زیادی وجود دارد که می‌تواند غیر واقعی باشد.

مسئله اصلی برای استفاده از تحلیل سناریو دسترس‌پذیری داده‌ها، و توانایی تحلیل‌گر و تصمیم‌گیرنده در توانا بودن ایجاد سناریو واقعی است که تابع کاوش در خروجی‌های ممکن باشد.

خطر استفاده از تحلیل سناریو به عنوان ابزار تصمیم‌گیری این است که سناریو استفاده شده اساس کافی نداشته باشد؛ داده‌ها سوداگرانه باشد؛ و نتایج غیرواقعی ناشناخته باشد.

ب.۱۱ تحلیل اثرات کسب‌وکار(BIA)[18]

ب.۱.۱۱ بررسی اجمالی

تحلیل اثرات کسب‌وکار، بعنوان ارزیابی اثرات کسب‌وکار شناخته می‌شود، چگونگی اثرات ریسک‌های اختلال کلیدی بر عملکرد سازمان را تحلیل می‌کند و توانایی‌هایی که برای مدیریت آن را نیاز است شناسایی و کمّی می‌نماید. بصورت خاص BIA مفاهیم مورد توافق زیر را فراهم می‌کند:

- شناسایی و حساسیت فرآیندهای کلیدی کسب‌وکار، منابع همراه و کارکردهای آن و وابستگی‌های کلیدی که برای سازمان وجود دارد؛
- چگونه پیشامدهای مخل در ظرفیت و قابلیت برآورده شدن اهداف بحرانی کسب‌وکار تاثیر می‌گذارند؛
- ظرفیت و قابلیتی که برای مدیریت اثرات اختلالات و بازسازی سطح عملیات مورد توافق سازمان که مورد نیاز است.

ب.۲.۱۱ کارکرد

BIA برای تعیین حساسیت و زمان‌بندی بازسازی فرآیندها و منابع همراه آن‌ها (افراد، تجهیزات، و اطلاعات تکنولوژی) در جهت تضمین مستمر بودن برآورده شدن اهداف استفاده می‌شود. بعلاوه، BIA از تعیین وابستگی و روابط بین فرآیندها، بخش‌های داخلی و خارجی و هرگونه ارتباط در زنجیره تامین، پشتیبانی می‌کند.

ب.۳.۱۱ ورودی‌ها

ورودی‌ها شامل موارد زیر است:

[18] Business impact analysis

- تیم که تحلیل را درنظر گرفته و طرح را ایجاد می‌کنند؛
- اطلاعات مرتبط با اهداف، محیط ، فعالیت‌ها و وابستگی‌های سازمان؛
- جزئیات فعالیت‌ها و عملیات‌های سازمان، شامل فرآیندها، منابع حمایتی، روابط با دیگر سازمان‌ها، آرایش منابع بیرونی، ذینفعان؛
- پیامدهای مالی و عملیاتی از دست دادن فرآیندهای بحرانی؛
- پرسشنامه آماده؛
- لیست مصاحبه شوندگان در زمینه‌های مرتبط سازمان و/یا ذینفعانی که با آن‌ها تماس گرفته می‌شود.

ب.۴.۱۱ فرآیند

فرآیند BIA می‌تواند با پرسشنامه، مصاحبه، کارگروهی ساختاریافته یا ترکیبی از هر سه، برای بدست آوردن درکی از فرآیند بحرانی، اثرات از دست دادن این فرآیندها و ساختار زمانی بازسازی و منابع پشتیبانی مورد نیاز انجام شود.

مراحل کلیدی شامل:

- مبتنی بر ارزیابی ریسک و آسیب‌پذیری، فرآیندها و خروجی‌های کلیدی سازمان برای تعیین فرآیندهای بحرانی تایید می‌شوند؛
- تعیین پیامدهای اختلال در شناسایی فرآیند بحرانی شرایط مالی و/یا عملیاتی، فراتر از دوره تعریف شده؛
- شناسایی وابستگی‌های بین ذینفعان کلیدی داخلی و خارجی. این می‌تواند شامل طرح ماهیت وابستگی‌ها در زنجیره تامین باشد؛
- تعیین منابع موجود د دسترس و سطح لازم از منابع مورد نیاز برای ادامه فعالیت در سطح حداقلی قابل قبول بعد از ایجاد اختلال؛
- شناسایی راه‌حل‌های جایگزین یا فرآیندهای موجود در حال استفاده یا برنامه‌ای که برای توسعه وجود دارد. در مواردی که هنگام اختلال منابع و قابلیت‌ها غیرقابل‌دسترس یا ناکافی است، ممکن است نیاز باشد که راه‌حل‌ها و فرآیندهای جایگزین ایجاد شوند؛
- تعیین حداکثر زمان از دسترس خارج شدن قابل قبول(MAO) برای هر فرآیند مبتنی بر شناسایی پیامدها و یا عوامل موفقیت اصلی برای هر کارکرد. MAO حداکثر دوره زمانی که سازمان می‌تواند از دست دادن ظرفیت را تحمل کند، بیان می‌دارد؛
- تعیین زمان بازسازی اهداف (RTO) برای هر تجهیزات مخصوص یا تکنولوژی اطلاعات. RTO زمانی را بیان می‌کند که اهداف سازمان برای بازسازی ظرفیت تجهیزات مخصوص یا تکنولوژی اطلاعات نیاز دارند؛
- تایید سطح آمادگی موجود فرآیندهای بحرانی برای مدیریت اختلال. این می‌تواند شامل افزایش(مانند تجهیزات یدکی) یا وجود تامین کنندگان متناوب باشد.

ب.۵.۱۱ خروجی‌ها

خروجی‌ها شامل:

- لیست اولویت از فرآیندهای بحرانی و وابستگی‌های همراه آن‌ها؛

- مستندات اثرات مالی و عملیاتی ناشی از دست دادن فرآیندهای بحرانی؛
- منابع پشتیبان مورد نیاز برای شناسایی فرآیندهای بحرانی؛
- چارچوب زمانی قطع فرآیند بحرانی و چارچوب زمانی بازسازی تکنولوژی اطلاعات همراه با آن.

ب.۶.۱۱ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت BIA شامل موارد زیر است:

- درک فرآیندهای بحرانی که برای سازمان مستمر بودن برآورده‌شدن اهداف اعلام شده را فراهم می‌نماید؛
- درک منابع مورد نیاز؛
- فرصت برای بازتعریف فرآیند عملیاتی سازمان در جهت پشتیبانی از تقویت سازمان؛

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- عدم آگاهی شرکت‌کنندگان در تکمیل کننده پرسشنامه، یا حاضر در مصاحبه‌ها و کارگروهی؛
- پویایی گروه ممکن است بر کامل بودن تحلیل فرآیند بحرانی تاثیر بگذارد؛
- انتظارات ساده یا بیش از حد خوشبینانه در نیازهای بازسازی؛
- دشوار بودن سطح درک کافی از فعالیت‌ها و عملیات‌های سازمان.

ب.۱۲ تحلیل علت ریشه‌ای(RCA)[19]

ب.۱.۱۲ بررسی اجمالی

تحلیل خسارات عمده برای جلوگیری از بازتکرار آن معمولاً به تحلیل علت ریشه ای(RCA)، تحلیل علت خرابی ریشه‌ای(RCFA) یا تحلیل خسارت رجوع می‌شود. RCA بر خسارات دارایی‌ها ناشی از انواع مختلف خرابی تمرکز دارد در صورتی که تحلیل خسارت توجه زیادی به خسارات مالی و اقتصادی ناشی از عوامل بیرونی یا فجایع دارد. این روش تلاش برای شناسایی علت ریشه‌ای و اصلی به جای مواجه با نشانه‌های ظاهری سریع را دارد. مشخص است که فعالیت‌های اصلاحی همیشه اثربخشی کامل ندارند و نیاز به بهبودهای مستمر وجود دارد. RCA اغلب در ارزشیابی خسارات عمده استفاده می‌شود امّا همچنین در سطح جهانی می‌تواند در تحلیل خسارات برای تعیین اقدامات بهبودبخش، استفاده شود.

ب.۲.۱۲ کارکرد

RCA در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارد و در محیط‌های گسترده زیر استفاده می‌شود:

- RCA مبتنی بر ایمنی برای تحقیقات حادثه و بهداشت حرفه‌ای و ایمنی استفاده می‌شود؛
- تحلیل خرابی در سیستم‌های فن‌آوری مرتبط با قابلیت اطمینان و نگهداری استفاده می‌شود؛
- RCA مبتنی بر تولید در زمینه کنترل کیفیت برای تولید صنعتی کاربرد دارد؛
- RCA مبتنی بر فرآیند تمرکز بر فرآیندهای تجارت دارد؛
- RCA مبتنی بر سیستم به عنوان ترکیبی از زمینه‌های قبلی، برای مواجهه با سیستم‌های پیچیده، ایجاد شده است تا در مدیریت تغییرات، مدیریت ریسک و تحلیل سیستم‌ها کاربرد داشته باشد.

ب.۳.۱۲ ورودی‌ها

[19] Root cause analysis

ورودی‌های اساسی برای RCA کلیه شواهد جمع‌آوری شده از خرابی یا خسارت هستند. همچنین داده‌ها از خرابی‌های مشابه می‌تواند وارد تحلیل شود. دیگر ورودی‌ها می‌تواند نتایج انجام شده آزمون فرضیه خاصی باشد.

ب.۴.۱۲ فرآیند

هنگامی که نیاز به RCA شناسایی شد، گروهی از متخصصین برای انجام تحلیل و ارائه پیشنهادات تعیین می‌شوند. نوع تخصص باید شدیداً مرتبط به تخصص مخصوص مورد نیاز برای تحلیل خرابی باشد.

اگر چه راه‌های گوناگونی می‌تواند برای شکل‌گیری تحلیل استفاده شود، گام‌های اساسی در شکل‌گیری RCA مشابه هستند و شامل:

- تشکیل تیم؛
- تعیین حیطه و اهداف RCA؛
- جمع‌آوری داده یا شواهد از خرابی یا خسارت؛
- تشکیل تحلیل ساختاریافته برای تعیین علت ریشه‌ای؛
- ایجاد راه‌حل‌ها و پیشنهادات؛
- اجرای پیشنهادات؛
- تایید موفقیت پیشنهادات اجرا شده.

تکنیک تحلیل ساختار یافته می‌تواند شامل موردی از موارد زیر باشد:

- تکنیک "۵ چرا"، . بارها سوال می‌شود 'چرا؟' تا لایه‌های مختلف از علل و زیرعلل برداشته شود.
- تحلیل حالت و اثرات خرابی؛
- تحلیل درخت خطا؛
- نمودار استخوان ماهی یا ایشیکاوا؛
- تحلیل پاراتو؛
- نقشه‌های علت ریشه‌ای.

ارزشیابی علت اغلب رویه‌ای از علت فیزیکی مشهود اولیه تا علت انسانی مرتبط و درآخر علت مدیریتی و اساسی است. عوامل سببی باید قادر به کنترل یا حذف قسمت‌های درگیر در جهت اقدام اصلاحی موثّر و ارزشمند باشد.

ب.۵.۱۲ خروجی‌ها

خروجی‌های RCA شامل موارد زیر است:

- مستندات داده‌ها و شواهد جمع‌آوری شده؛
- فرضیه‌های درنظر گرفته شده؛
- نتیجه‌گیری در مورد محتمل‌ترین علت ریشه‌ای برای خرابی یا خسارت؛
- پیشنهاداتی برای اقدامات اصلاحی.

ب.۶.۱۲ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت شامل موارد زیر است:

- شامل متخصصین قابل که در محیط تیم شرکت دارند؛
- تحلیل ساختاریافته؛
- شامل کلیه فرضیه‌های محتمل؛
- مستندسازی نتایج؛
- نیاز به تولید پیشنهادات نهایی؛

محدودیت‌های RCA شامل موارد زیر است:

- نیاز به متخصصانی که ممکن است دردسترس نباشد؛
- شواهد حساس ممکن است در خرابی‌ها از بین برویه یا در زمان نظافت پاک شوند؛
- تیم ممکن است زمان و منابع کافی برای ارزشیابی کامل شرایط را نداشته باشد؛
- ممکن است امکان اجرای پیشنهادات به اندازه کفایت ممکن نباشد.

ب.۱۳ تحلیل حالات خرابی و اثرات(FMEA) و تحلیل حالات خرابی و اثرات و حساسیت (FMECA)

ب.۱.۱۳ بررسی اجمالی

تحلیل حالات خرابی و اثرات (FMEA)[۲۰] تکنیکی است که مورد استفاده برای شناسایی مسیرهایی که اجزا، سیستم‌ها یا فرآیندهایی است که می‌توانند منجر به عدم موفقیت تحقق اهداف طراحی شوند.

FMEA شناسایی می‌کند:

- کلیه حالات خرابی قسمت‌های مختلف سیستم (حالت خرابی آن چیزی است که در شکست یا فعالیت ناصحیح مشاهده می‌شود)؛
- اثراتی که این خرابی‌ها می‌تواند بر روی سیستم داشته باشند؛
- مکانیسم خرابی؛
- چگونگی اجتناب از خرابی‌ها، و/یا تسکین اثرات خرابی‌ها بر سیستم.

FMECA [۲۱]بسط FMEA است که هر حالت خرابی که شناسایی می‌شود مطابق اهمیت و حساسیت رتبه‌بندی می‌شود.

این تحلیل حساسیت معمولاً کیفی یا نیمه‌کمّی است امّا می‌تواند با نرخ شکست واقعی کمّی گردد.

ب.۲.۱۳ کارکرد

کاربردهای مختلفی برای FMEA وجود دارد: Design (or Product) FMEA که برای اجزا و محصولات استفاده می‌شود، System FMEA که برای سیستم‌ها استفاده می‌شود، Process FMEA که برای فرآیندهای تولید و مونتاژ استفاده می‌شود، Service FMEA و Software FMEA.

FMEA/FMECA ممکن است در طول طراحی، ساخت یا عملیات سیستم فیزیکی استفاده شود.

[20] Failure modes and effects analysis
[21] Failure modes and effects and criticality analysis

برای افزایش قابلیت اطمینان، معمولاً تغییرات در مرحله طراحی آسان‌تر اجرا می‌شوند. FMEA و FMECA همچنین می‌توانند در فرآیندها ورویه‌ها استفاده شود. برای مثال، برای شناسایی خطاهای پزشکی بالقوه در سیستم‌های سلامت و خرابی در رویه‌های نگهداری استفاده می‌شود.

FMEA/FMECA می‌تواند استفاده شود برای:

- پشتیبانی از انتخاب طراحی‌های جایگزین با قابلیت اطمینان بالا،
- تضمین این که کلیه حالات خرابی سیستم‌ها یا فرآیندها، و اثرات آن‌ها برموفقیت عملیات درنظر گرفته می‌شود،
- شناسایی حالات خطاهای انسانی و اثرات،
- اساسی برای آزمون برنامه‌ریزی و نگهداری سیستم‌های فیزیکی،
- بهبود طراحی رویه‌ها و فرآیندها،
- فراهم آوردن اطلاعات کیفی یا کمّی برای تکنیک‌های تحلیل مانند تحلیل درخت خطا .

FMEA و FMECA می‌تواند ورودی‌هایی را برای تکنیک‌های تحلیل دیگر همچون تحلیل درخت خطا در سطح کیفی یا کمّی فراهم می‌آورد.

ب.۳.۱۳ ورودی‌ها

FMEA و FMECA به اطلاعاتی در مورد اجزای سیستم با جزئیات کافی برای تحلیل مفهومی راه‌های ممکن خرابی هر عضو نیاز دارد. برای Design FMEA دقیق، اجزا ممکن است دقتی در سطح مولفه‌های انحصاری داشته باشد، در صورتی که برای System FMEA ، اجزا ممکن است در سطح بالاتری تعریف شوند.

اطلاعات می‌تواند شامل:

- نقشه‌ها یا فلوچارت سیستمی که تحلیل می‌شود، یا اجزا، یا مراحل فرایند؛
- درک از عملکرد هر مرحله از فرآیند یا اجزا سیستم؛
- جزئیات محیطی و دیگر پارامترها، که می‌تواند بر عملیات اثرگذار باشد؛
- درک از نتایج خرابی خاصی؛
- اطلاعات تاریخی خرابی‌ها شامل داده‌های نرخ خرابی دردسترس.

ب.۴.۱۳ فرآیند

فرآیند FMEA شامل:

أ. تعریف حیطه‌ها و اهداف مطالعه؛

ب. گردآوری تیم؛

ت. درک سیستم/فرآیند که برای FMECA برقرار می‌شود؛

ث. تجزیه سیستم به اجزا یا مراحل آن؛

ج. تعریف کارکرد هر مرحله یا جز؛

ح. برای کلیه اجزا یا مراحل لیست زیر شناسایی می‌شود:

- چگونه هر قسمت امکان خرابی دارد؟
- چه مکانیسمی می‌تواند این حالات خرابی را تولید کند؟

- اگر شکست اتفاق بیافتد، اثرات چه چیزی است؟
- آیا خرابی بی‌ضرر یا آسیب‌رسان است؟
- چگونه خرابی شناسایی می‌شود؟

خ. شناخت ویژگی‌های ذاتی طراحی برای جبران خرابی‌ها.

برای FMECA، تیم مطالعه هر حالت خطر شناسایی شده را با توجه به حساسیت آن طبقه‌بندی می‌کند. چندین راه برای انجام آن وجود دارد. روش‌های معمول شامل:

- حالت حساسیت شاخص
- سطح ریسک
- عدد اولویت ریسک

مدل حساسیت، اندازه‌گیری احتمالی است که حالت به عنوان نتیجه خرابی در کل سیستم درنظر می‌گیرد. این‌گونه تعریف می‌شود:

احتمال اثرات خرابی * نرخ حالت خرابی* زمان فعالیت سیستم

این روش اغلب برای خرابی تجهیزات، که هر کدام از این شرایط بصورت کمّی تعریف شده و حالات خرابی پیامدهای یکسانی دارند، استفاده می‌شود.

سطح ریسک از ترکیب پیامدهای حالت خرابی و احتمال خرابی بدست می‌آید. زمانی که پیامدهای حالات خرابی مختلف، متفاوت است این حالت استفاده می‌شود و می‌تواند بر تجهیزات سیستم یا فرآیند اجرا شود. سطح ریسک می‌تواند بصورت کیفی، نیمه‌کمّی یا کمّی بیان شود.

عدد اولویت ریسک (RPN) اندازه‌گیری نیمه‌کمّی حساسیت است که توسط ضرب اعداد از مقیاس رتبه‌ای (معمولاً بین ۱ تا ۱۰) برای پیامدهای خرابی، احتمال خرابی و توانایی شناسایی مسئله بدست می‌آید. (اگر خرابی سخت شناسایی شود، اولویت بالایی دارد.) این روش اغلب در کاربردهای تضمین کیفیت استفاده می‌شود.

هنگامی که حالات و مکانیسم خرابی شناسایی شد، اقدامات اصلاحی می‌تواند برای حالات خرابی مهمتر تعریف و اجرا شوند.

FMEA در گزارشی مستند می‌شود و شامل موارد زیر است:

- جزئیات سیستمی که تحلیل شده است؛
- روشی که فعالیت‌ها انجام شده است؛
- فرضیاتی که در تحلیل درنظر گرفته شده است؛
- منابع داده؛
- نتایج، شامل برگه‌های تکمیل شده؛
- حساسیت و روش‌شناسی که برای تعاریف استفاده شده است؛
- هر پیشنهاداتی برای تحلیل بیشتر، تغییرات طراحی یا ویژگی‌های برای آزمون طرح، و غیره.

بعد از آن‌که فعالیت‌ها بصورت کامل انجام شد، سیستم ممکن است توسط سیکل دیگری از FMEA بازارزیابی شود.

ب.۵.۱۳ خروجی‌ها

خروجی‌ها اصلی FMEA لیست حالات خرابی، مکانیسم‌ها و اثرات خرابی برای هر جز یا مرحله سیستم یا فرآیند است (می‌تواند شامل اطلاعاتی در مورد احتمال خرابی بر روی سیستم باشد). اطلاعاتی درباره علل خرابی‌ها و پیامدهای آن بر روی کل سیستم داده می‌شود. خروجی‌های FMECA شامل رتبه‌بندی اهمیت بر اساس احتمال خرابی سیستم، سطح ریسک ناشی شده از حالت خرابی یا ترکیبی از سطح ریسک و ' توانایی شناسایی ' حالت خرابی است.

FMECA می‌تواند نتایج کمّی داشته باشد، اگر داده‌های نرخ خرابی و پیامدهای کمّی استفاده شده باشد.

ب.۶.۱۳ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت FMEA/FMECA شامل موارد زیر است:

- استفاده گسترده برای حالات خطا انسانی، تجهیزات و سیستم‌ها و برای سخت‌افزارها، نرم‌افزارها و رویه‌ها؛
- شناسایی حالات خرابی اجزا، علل و اثرات آن‌ها بر روی سیستم، و ارائه آن‌ها در بصورتی که به آسانی خوانا باشد؛
- اجتناب از تغییرات پرهزینه تجهیزات در سرویس توسط شناسایی سریع مسئله در فرآیند طراحی؛
- شناسایی حالات نقطه‌ای شکست و الزامات برای ایمنی و تقویت سیستم؛
- فراهم کردن ورودی برای توسعه برنامه پایش توسط برجسته کردن ویژگی‌های کلیدی که باید پایش شوند.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- آن‌ها فقط می‌توانند برای شناسایی حالت خرابی استفاده شوند، نه ترکیبی از حالات خرابی؛
- اگر به اندازه کافی متمرکز و کنترل شده نباشد، مطالعات می‌تواند زمان‌بر و پرهزینه باشد؛
- برای سیستم‌های پیچیده چند لایه می‌توانند سخت و خسته‌کننده باشند.

ب.۷.۱۳ سند مرجع

IEC 60812, Analysis techniques for system reliability – Procedures for failure mode and effect analysis (FMEA)

ب.۱۴ تحلیل درخت خطا (FTA)[۲۲]

ب.۱.۱۴ بررسی اجمالی

FTA تکنیکی است برای شناسایی و تحلیل عواملی که می‌توانند در پیشامد ناخواسته خاصی (که "پیشامد نهایی" نامیده می‌شود) شرکت کنند. عوامل سببی بصورت استقرایی شناسایی می‌شوند، به روش منطقی سازماندهی می‌شوند و در نمودار درختی تصویری ارائه می‌شوند که عوامل سببی و روابط منطقی آن‌ها را با پیشامد نهایی به تصویر می‌کشد.

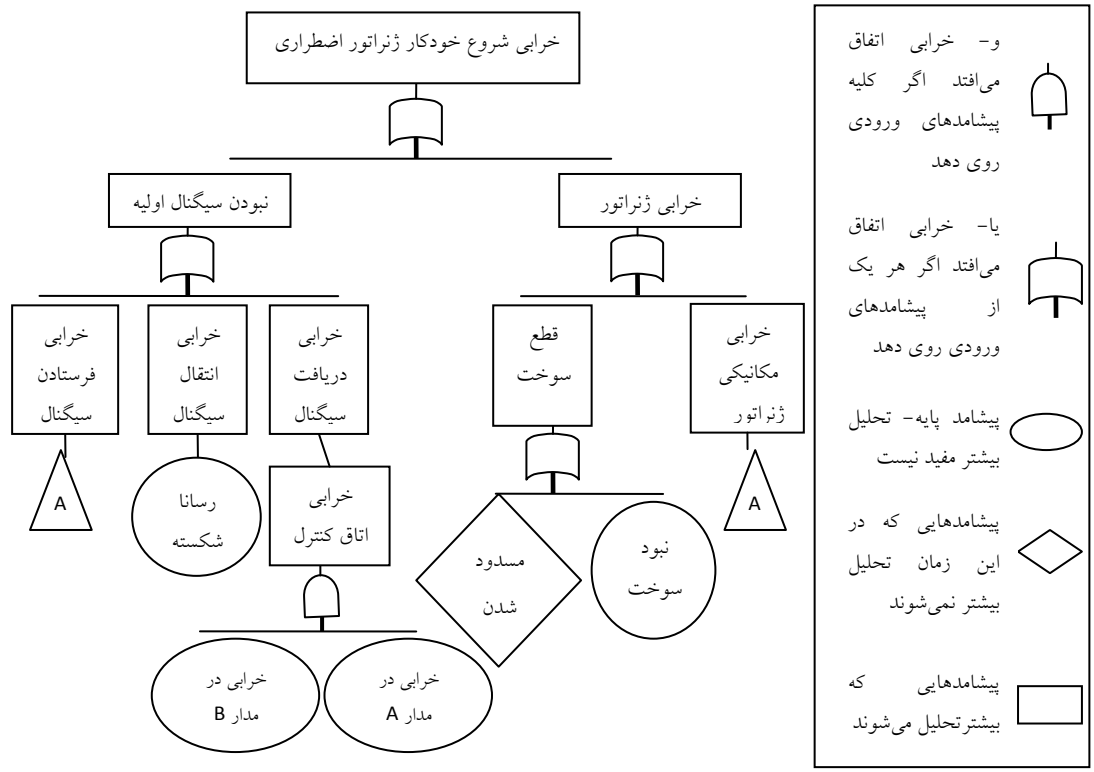
عواملی شناسایی شده در درخت می‌توانند همراه با خرابی سخت افزاری اجزا، خطاهای انسانی یا هر پیشامد مربوط دیگر شوند که منجر به پیشامد نامطلوب می‌شود.

ب.۲.۱۴ کارکرد

[22] Fault tree analysis(FTA)

درخت خطا می‌تواند بصورت کیفی برای شناسایی علل بالقوه و مسیرهای خرابی (پیشامد نهایی) یا بصورت کمّی برای محاسبه احتمال پیشامد نهایی استفاده شود، که دانشی را برای احتمال عوامل سببی می‌دهد.

ممکن است در مرحله طراحی سیستم برای شناسایی علل بالقوه خرابی و حتی انتخاب بین گزینه‌های مختلف طراحی استفاده شود. ممکن است در مرحله عملیات برای شناسایی خرابی‌های اصلی که می‌تواند اتفاق بیافتد و اهمیت نسبی مسیرهای مختلف تا پیشامد اصلی استفاده شود. ممکن است درخت خطا برای تحلیل خرابی که اتفاق افتاده است، استفاده شود و برای بصورت نموداری چگونگی وقوع پیشامد مختلف برای ایجاد خرابی را نشان دهد.



شکل ب.۲ – مثال از FTA از IEC60300-3-9

ب.۳.۱۴ ورودی‌ها

برای تحلیل کیفی، همانگونه که درک فنی از چگونگی خرابی سیستم مورد نیاز است درکی هم از سیستم و علل خرابی نیاز است. نمودارهای دقیق برای کمک به تحلیل می‌تواند مفید باشد.

برای تحلیل کمّی، داده‌های نرخ خرابی یا احتمال حالت خرابی برای کلیه پیشامدهای اساسی در درخت خطا مورد نیاز است.

ب.۴.۱۴ فرآیند

مراحل برای ایجاد درخت خطا شامل:

- پیشامد نهایی که باید آنالیز گردد، تعریف می‌شود. این می‌تواند خرابی و یا نتیجه‌ای از آن خرابی باشد. هنگامی که نتایج تحلیل می‌شوند، درخت ممکن است شامل، بخش مرتبط با تسکین خرابی واقعی باشد.
- شروع با پیشامد نهایی، علل سریع ممکن یا حالات خرابی که منجر به پیشامد نهایی می‌شوند را شناسایی می‌کند.
- هر کدام از حالات علل/خرابی برای شناسایی خرابی‌هایی که می‌توانند منجر شوند، تحلیل می‌شوند.

- شناسایی گام به گام فعالیت‌های نامطلوب سیستم بصورت متوالی برای سطح پایین‌تر سیستم ادامه می‌یابد تا هنگامی که تحلیل بیشتر بی‌حاصل شود. در سیستم سخت‌افزاری این می‌تواند سطح خرابی اجزا باشد. پیشامد و عوامل سببی که در پایین‌ترین سطح سیستم تحلیل می‌شوند، به عنوان پیشامدهای پایه شناخته می‌شود.
- اگر احتمال پیشامد پایه داده شده باشد، احتمال پیشامد نهایی می‌تواند محاسبه شود. برای اینکه کمیّت معتبر باشد، در هر عملگر، باید نشان داد که کلیه ورودی‌ها برای تولید پیشامد خروجی لازم و کافی هستند. اگر این اتفاق روی ندهد، درخت خطا برای تحلیل احتمالات معتبر نیست امّا ممکن است ابزاری مفید برای نشان دادن روابط سببی باشد.

در بخش کمّی درخت خطا ممکن است نیاز به ساده‌سازی با استفاده از جبر بولی برای محاسبه حالات خرابی تکراری باشد.

بعلاوه برای فراهم کردن تخمین احتمال پیشامد اصلی، مجموعه کمترین برش، که مسیر مستقل جداگانه‌ای را تا پیشامد اصلی دارد، می‌تواند شناسایی شود و اثرات آن بر پیشامد اصلی محاسبه گردد.

به استثنا درخت خطا ساده، هنگامی که پیشامد تکراری در مکان‌های مختلف درخت خطا وجود دارد مجموعه‌ای نرم‌افزاری نیاز است تا محاسبات را به درستی اداره کند ، و مجموعه حداقل برش را محاسبه کند. ابزارهای نرم‌افزاری کمک به اطمینان ثبات، صحت و تحقق‌پذیری می‌کند.

ب.۵.۱۴ خروجی‌ها

خروجی‌ها از تحلیل درخت خطا شامل موارد زیر است:

- ارائه تصویری از چگونگی روی دادن پیشامد نهایی که ارتباط مسیرهایی که دو یا چند پیشامد همزمان باید با هم روی دهد را نشان می‌دهد؛
- لیستی از مجموعه حداقل برش‌ها (مسیرهای مستقل تا خرابی) با (اگر داده دردسترس باشد) احتمالی که هر کدام می‌تواند روی دهد؛
- احتمال پیشامد نهایی.

ب.۶.۱۴ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت FTA شامل موارد زیر است:

- رویکردی منظم که بسیار سیستماتیک است را فراهم می‌کند، امّا در عین حال به اندازه کافی انعطاف‌پذیر است و اجازه می‌دهد عوامل مختلفی، شامل روابط انسانی و علائم فیزیکی تحلیل شود.
- استفاده از رویکرد "بالا- پایین"، که در روش تلویحی است، متمرکز اثرات خرابی است که مستقیماً با پیشامد نهایی مرتبط است.
- FTA مخصوصاً برای تحلیل سیستم‌هایی با روابط و انفعالات زیاد مفید است.
- ارائه تصویری منجر به درک آسان از رفتار سیستم و عوامل مشمول می‌شود، امّا از آنجا که درخت‌ها اغلب بزرگ است، فرآیند سیستم خرابی ممکن است نیاز به سیستم کامپیوتر داشته باشد. این ویژگی روابط پیچیده‌تر منطقی را ممکن می‌سازد امّا تایید و تصدیق درخت خطا را دشوار می‌کند.

- تحلیل منطقی درخت خطا و شناسایی مجموعه برش‌ها در شناسایی ساده مسیر خرابی در سیستم خیلی پیچیده که ترکیبات خاصی از پیشامدهای منجر به پیشامد نهایی شد می‌توانند نادیده باشند، مفید است.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- عدم‌اطمینان احتمال پیشامدهای پایه در محاسبه احتمال پیشامد نهایی وارد می‌شود. هنگامی که احتمال حالت خرابی پایه بصورت دقیق شناسایی نشده باشد، نتایج با سطح عدم‌اطمینان بالا روبرو می‌شود ؛ اگرچه، درجه بالایی از اعتماد، با درک صحیح سیستم ممکن می‌شود.
- در بعضی شرایط، علل سببی با هم مرز ندارند و این می‌تواند درنظر گرفتن کلیه راه‌های مهم به پیشامد نهایی را دشوار کند. برای مثال، کلیه منابع اشتعال در تحلیل آتش به عنوان پیشامد نهایی. در این شرایط تحلیل احتمال ممکن نیست.
- درخت خطا تحلیل ایستا است؛ وابستگی‌های زمانی را درنظر نمی‌گیرد.
- درخت خطا می‌تواند فقط با حالت دو دویی(خرابی/عدم خرابی) مواجه است.
- هنگامی که حالت خطاهای انسانی در درخت خطا کیفی درنظر گرفته شود، در خرابی کلی درجه کیفیتی که اغلب خطای انسانی مشخص می‌کند نمی‌تواند به آسانی وارد شود.
- درخت خطا توانایی بررسی اثرات ترتیبی یا خرابی‌های مشروط را به آسانی ندارد.

ب.۷.۱۴ سند مرجع

IEC 61025, Fault tree analysis (FTA)

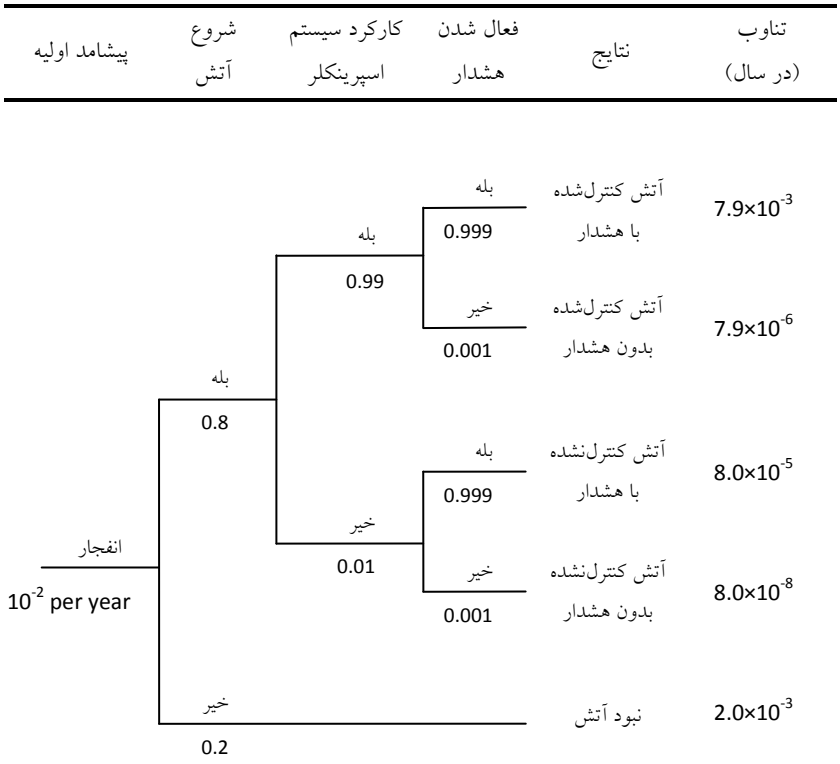
IEC 60300-3-9, Dependability management — Part 3: Application guide — Section 9: Risk analysis of technological systems

ب.۱۵ تحلیل درخت پیشامد (ETA)[۲۳]

ب.۱.۱۵ بررسی اجمالی

ETA تکنیک نمایشی برای ارائه رابطه متقابل ترتیب پیشامدها از پیشامد ابتدایی است که کارکرد/عدم‌کارکرد سیستم‌های مختلف طراحی شده برای تسکین پیامدها را بررسی می‌کند (شکل ب.۳). می‌تواند بصورت کمّی یا کیفی استفاده شود.

[23] Event tree analysis(ETA)



شکل ب.۳ – مثال از درخت پیشامد

شکل ب.۳ محاسبه‌ای ساده از نمونه درخت پیشامد، در حالی که شاخه‌هایش کاملاً مستقل هستند را نشان می‌دهد.

با درنظر گرفتن درخت، ETA توانایی دارد تا حوادث تشدیدی یا تسکینی برای پاسخ به پیشامد آغازین را با درنظر گرفتن سیستم‌های دیگر، کارکردها یا موانع بیان کند.

ب.۲.۱۵ کارکرد

ETA می‌تواند برای مدل‌سازی، محاسبه و رتبه‌بندی (از نقطه نظر ریسک) برای سناریوهای مختلف حوادث استفاده شود که ادامه پیشامد آغازین هستند.

ETA می‌تواند در هر مرحله از چرخه عمر محصول یا فرآیند استفاده شود. می‌تواند بصورت کیفی برای کمک به سناریوهای بالقوه طوفان ذهنی و سلسله پیشامدهایی که پیشامد آغازین را دنبال می‌کنند و چگونگی تاثیرپذیری نتایج از درمان‌ها، موانع یا کنترل‌های متفاوت برای تسکین نتایج ناخواسته، استفاده شود.

تحلیل کمّی خود را معطوف به درنظرگرفتن قابلیت کنترل‌ها می‌کند. این اغلب برای حالت خرابی که چندین حفاظت وجود دارد استفاده می‌شود.

ETA می‌تواند برای مدل‌سازی پیشامد آغازین استفاده شود که می‌تواند خسارتی یا سودآور باشند. اگرچه، در شرایطی که به دنبال بهینه‌سازی افزایش سود هستیم اغلب از مدل درخت تصمیم‌گیری استفاده می‌شود.

ب.۳.۱۵ ورودی‌ها

ورودی‌ها شامل:

- لیست پیشامدهای آغازین مناسب؛
- اطلاعاتی از درمان‌ها، موانع و کنترل‌ها، و احتمال خرابی آن‌ها (برای تحلیل کمّی)؛

- شناخت فرآیندهایی که به موجب آن خرابی آغازین تشدید می‌شود.

ب.۴.۱۵ فرآیند

درخت پیشامد با انتخاب پیشامد آغازین شروع می‌شود. ممکن است حادثه‌ای مانند انفجار یا پیشامد سببی مانند قطع برق باشد. سپس فعالیت‌ها یا سیستم‌های در محل برای تسکین نتایج، لیست می‌شوند. برای هر فعالیت یا سیستم، خطی رسم می‌شود که موفقیت یا عدم موفقیت را بیان کند. احتمال خاصی از خرابی می‌تواند به هر خطی داده شود، که در این شرایط احتمال بوسیله قضاوت مهندسی یا تحلیل درخت خطا تخمین زده می‌شود. در این روش، مسیرهای مختلف از پیشامد آغازین مدل می‌شوند.

توجه داشته باشید که احتمالات در درخت پیشامد، احتمالات شرطی است، برای مثال احتمال کارکرد اسپرینکلر از آزمون آن در شرایط عادی بدست آمده است امّا احتمال باید تحت آتش ناشی از انفجار باشد.

هر مسیر، احتمال رویدادهایی را که در مسیر ممکن است بیافتد را بیان می‌کند. بنابراین، فراوانی نتایج، محصول احتمال شرطی منحصربه‌فردی است و فراوانی حادثه آغازین، احتمال رویدادهای مختلف را بصورت مستقل می‌دهد.

ب.۵.۱۵ خروجی‌ها

خروجی‌های ETA شامل موارد زیر است:

- تشریح کیفی مسائل بالقوه که از ترکیب پیشامدها، انواع مسائل (با طیف خروجی) را از پیشامد آغازین شکل می‌دهد؛
- تخمین کمّی از فراوانی پیشامد یا احتمال و اهمیت نسبی توالی خرابی‌های مختلف و پیشامدهای مشارکت کننده؛
- لیست پیشنهادات برای کاهش ریسک؛
- ارزشیابی کمّی اثربخشی توصیه‌ها.

ب.۶.۱۵ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت ETA شامل موارد زیر است:

- ETA سناریوهای بالقوه مختلف ناشی از حادثه آغازین را نشان می‌دهد و اثر موفقیت یا عدم موفقیت سیستم‌ها یا کارکردهای تسکین‌دهنده را به شیوه نموداری واضح تحلیل می‌کند.
- اثرات زمانی، وابستگی‌ها و دومینویی[۲۴] را که در مدل درخت خطا دست و پا گیر بودند بررسی می‌کند.
- بصورت نمایشی سلسله پیشامدها را بیان می‌کند که در درخت خطا بیان آن‌ها ممکن نبود.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- بمنظور استفاده از ETA به عنوان ارزیابی جامع، نیاز به شناسایی تمام پیشامدهای آغازین است. این ممکن است با روش تحلیل دیگر (HAZOP، PHA) انجام شود، اگرچه، همیشه این پتانسیل برای از دست دادن بعضی از پیشامدهای آغازین مهم وجود دارد؛

[24] domino

- در درخت پیشامد، فقط با حالات موفقیت و خرابی سیستم مواجه هستیم، و این تصوّر موفقیت‌های موخر یا حوادث بازسازی را سخت می‌کند؛
- هر مسیر مشروط به حوادثی است که در شاخه‌های قبل در طول مسیر اتفاق افتاده است. با وابستگی‌های زیادی در طول مسیر ممکن مواجه هستیم. بعضی از وابستگی‌ها، مانند اجزا معمول، سیستم ابزار و اپراتور اگر بدقت رسیدگی نشده باشند، ممکن است نادیده گرفته شوند ، و به برآورد خوشبینانه خطر منجر شود.

ب.۱۶ تحلیل علّت- پیامد[۲۵]

ب.۱.۱۶ بررسی اجمالی

تحلیل علّت- پیامد ترکیبی از تحلیل‌های درخت خطا و درخت پیشامد است. این روش از پیشامد بحرانی شروع شده و پیامدها را توسط ترکیبی از دریچه‌های منطقی بلی/خیر تحلیل می‌کند تا شرایطی که ممکن است رخ دهد یا خرابی‌های سیستمی که برای تسکین پیامدهای پیشامد اولیه طراحی شده است را نمایش دهد. علل شرایط یا خرابی‌ها توسط درخت خطا تحلیل می‌شود (قسمت ب.۱۵ را ببینید).

ب.۲.۱۶ کارکرد

تحلیل علّت- پیامد در ابتدا به عنوان ابزار قابل‌اعتماد برای ایمنی سیستم‌های بحرانی ایجاد شد تا درک کامل‌تری از خرابی‌های سیستم بدهد. همانند تحلیل درخت خطا، برای نمایش خرابی‌های منطقی منجر به پیشامد بحرانی استفاده می‌کند امّا مشخصه‌ی اضافه نسبت به درخت خطا دارد و اجازه می‌دهد توالی زمانی خرابی‌ها تحلیل شود. روش همچنین تاخیرهای زمانی را در ترکیب تحلیل پیامدها اجازه می‌دهد که این در تحلیل درخت پیشامد ممکن نبود.

روش برای تحلیل مسیرهای مختلفی که سیستم می‌تواند پیشامد بحرانی را دنبال کند، استفاده می‌شود و وابسته به رفتار زیرسیستم‌های مشخصی (مانند سیستم پاسخ‌گویی سریع) است. اگر کمّی باشد، تخمین احتمال پیامدهای ممکن متفاوت ناشی از پیشامد بحرانی را مشخص می‌کند.

هر توالی در نمودار علّت- پیامد ترکیبی از درخت‌های زیرخطا است، تحلیل علّت- پیامد می‌تواند به عنوان ابزاری برای ساخت درخت‌های خطا بزرگ استفاده شود.

نمودارها برای تولید و استفاده پیچیده هستند و تمایل استفاده از آن زمانی است که میزان پیامد بالقوه خرابی توجیهی برای این تلاش‌های گسترده داشته باشد.

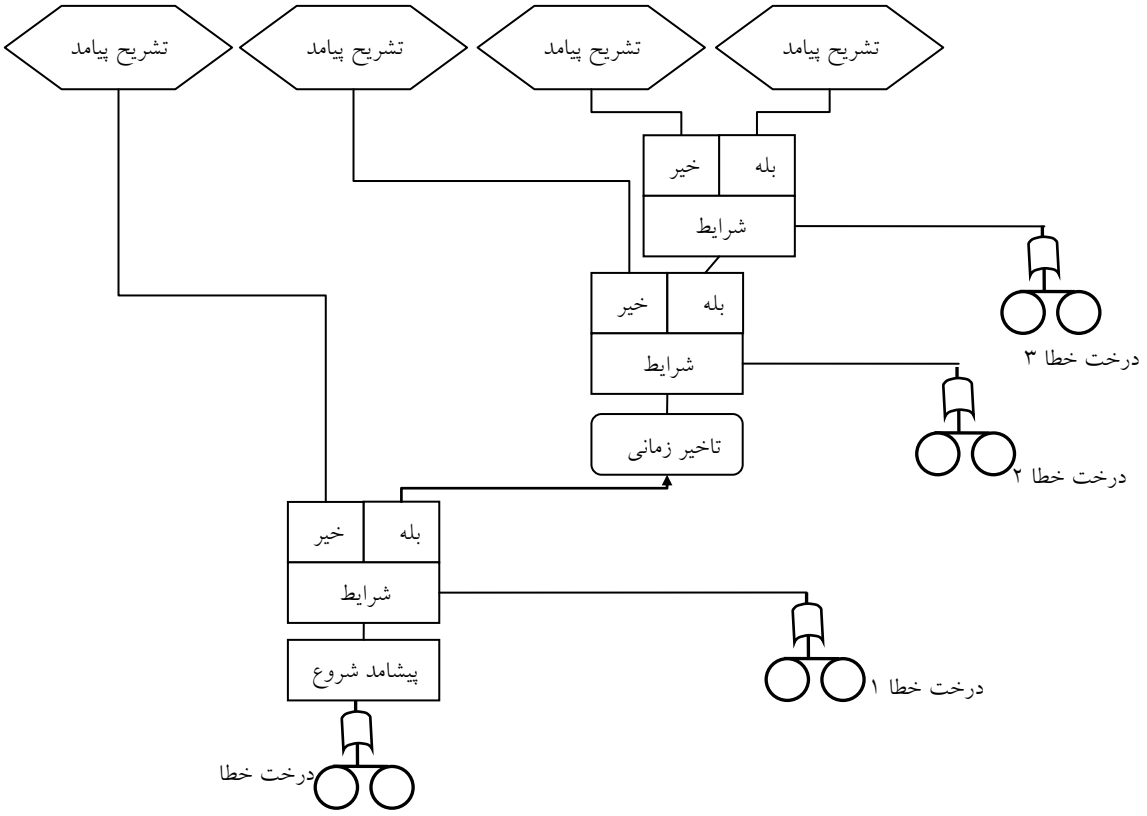
ب.۳.۱۶ ورودی‌ها

درکی از سیستم و حالات خرابی و سناریوهای خرابی که نیاز است.

ب.۴.۱۶ فرآیند

شکل ب.۴ نمودار مفهومی از نوع تحلیل علّت- پیامد نشان می‌دهد.

[25] Cause-consequence analysis



شکل ب.۴ – مثال از تحلیل علّت-پیامد

رویه به شرح زیر است:

أ. شناسایی پیشامد بحرانی(یا آغازین) (معادل پیشامد نهایی در درخت خطا و پیشامد آغازین در درخت پیشامد)

ب. ایجاد و ارزش‌دهی درخت خطا برای علل پیشامد آغازین همانگونه که در بخش ب.۱۴ تشریح شد. نشانه‌های مشابه مورد استفاده در تحلیل درخت خطا معمول، استفاده می‌شود.

ت. تصمیم در مورد اینکه کدام شرایط باید درنظرگرفته شود. این باید شامل توالی منطقی مانند توالی زمانی باشد، که رویدادها رخ می‌دهند.

ث. ساخت مسیرهایی برای پیامدهای وابسته به شرایط متفاوت. این شبیه درخت پیشامد است امّا مسیر درخت پیشامد به کادرهای مشخصی تجزیه شده است که با شرایط خاصی استفاده می‌شوند.

ج. خرابی‌ها برای هر کادر شرایط بصورت مستقل تهیه می‌شود، احتمال هر پیامد می‌تواند محاسبه شود. این با تخصیص اولیه احتمالات به هر خروجی کادرهای شرایط حاصل می‌شود (استفاده از درخت خطا مرتبط مناسب است) احتمال هر توالی منجر به پیامد خاصی می‌شود که با ضرب احتمال هر توالی از شرایط که در شرایط خاص به پایان رسیده است. اگر بیش از یک توالی برای پیامدی مشابه موجود باشد، احتمالات از هر توالی با هم جمع می‌شوند. اگر وابستگی بین شرایط توالی خرابی (برای مثال قطعی برق ممکن است چندین شرایط برای قطعی داشته باشد) باید قبل از محاسبه مسئله وابستگی‌ها را مشخص کرد.

ب.۵.۱۶ خروجی‌ها

خروجی‌ها تحلیل علّت- پیامد ارائه نموداری از چگونگی خرابی سیستم است که علل و پیامدها را نشان می‌دهد. تخمین احتمال رویدادها برای هر پیامد بالقوه بر پایه تحلیل احتمال رویداد شرایط خاصی است که ناشی از پیشامد بحرانی است.

ب.۶.۱۶ نقاط قوت و محدودیت‌ها

مزیت تحلیل علّت-پیامد ترکیب دو درخت پیشامد و درخت خطا است. بعلاوه، بر بعضی از محدودیت‌هایی را که این روش‌ها دارند بوسیله توانایی تحلیل پیشامد در طول زمان غلبه کرده است. تحلیل علّت-پیامد دیدی جامع از سیستم ارائه می‌دهد.

محدودیت این روش پیچیدگی بیشتر نسبت به تحلیل درخت خطا و درخت پیشامد است، هر دو را باید ایجاد کرد بصورتی که با وابستگی‌ها در طول محاسبات مواجه شویم.

ب.۱۷ تحلیل علّت و معلول[۲۶]

ب.۱.۱۷ بررسی اجمالی

تحلیل علّت و معلول روش ساختاریافته برای شناسایی علل ممکن پیشامد نامطلوب یا مسئله است. این تکنیک عوامل شرکت‌کننده ممکن را در دسته‌های بزرگ سازمان می‌دهد، بصورتی که تمام فرضیه‌های ممکن را دربرگیرد. با این حال به علل واقعی اشاره نمی‌کند، و این علل فقط با شواهد واقعی و آزمون تجربی فرضیه مشخص می‌شود. اطلاعات توسط نمودار استخوان‌ماهی (ایشیکاوا هم نام دارد) یا در بعضی مواقع نمودار درختی سازمان می‌یابد.

ب.۲.۱۷ کارکرد

تحلیل علّت و معلول نمایش تصویری ساختاریافته از لیست علل معلول خاصی را فراهم می‌کند. وابسته به مفاهیم، معلول می‌تواند مثبت (اهداف) یا منفی (مسئله) باشد.

این تکنیک توانا استفاده می‌شود تا کلیه سناریوها و علل ممکن که این سناریوها را تولید می‌کند را توسط تیمی از متخصصان درنظر بگیرد و اجماع نهایی از محتمل‌ترین علل را ایجاد کند که می‌تواند بصورت تجربی یا با ارزشیابی داده‌های دردسترس آزمایش شود. این بسیار ارزشمند است که در آغاز تحلیل تفکر گسترده‌ای در مورد علل ممکن صورت پذیرد و سپس فرضیه‌های بالقوه که بیشتر رسمیت دارند، درنظر گرفته شوند.

ساخت نمودار علّت و معلول می‌تواند انجام شود هنگامی که نیاز به:

- شناسایی علل ریشه‌ای ممکن، دلایل اصلی، برای اثر، مسئله یا شرایط خاص؛
- مرتب کردن و ارتباط دادن رابطه‌های میان عوامل که بر فرآیند خاصی اثر دارند؛
- تحلیل مسائل موجود و فعالیت‌های اصلاحی که می‌تواند انجام شود.

مزایا ایجاد نمودار علّت و معلول شامل:

- متمرکز شدن توجه اعضای بررسی به مسئله‌ای خاص؛
- کمک به تعیین علل ریشه‌ای مسائل با رویکرد ساختاریافته؛
- تشویق اعضای گروه و استفاده از دانش گروه برای تولید یا فرآیند؛

[26] Cause-and-effect analysis

- استفاده از قالب منظم و آسان برای درک نمودار تحلیل علّت و معلول ؛
- نشان دادن علل احتمالی تغییرات در فرآیند؛
- شناسایی زمینه‌هایی که داده‌هایی برای مطالعات بیشتر باید جمع‌آوری شود.

تحلیل علّت و معلول می‌تواند به عنوان روشی در شکل‌گیری تحلیل علل ریشه‌ای استفاده شود.(قسمت ب.۱۲ را مشاهده کنید)

ب.۳.۱۷ ورودی‌ها

ورودی تحلیل علّت و معلول می‌تواند تخصص و تجربه شرکت‌کنندگان یا مدل‌های ایجاد و استفاده شده در گذشته، باشند.

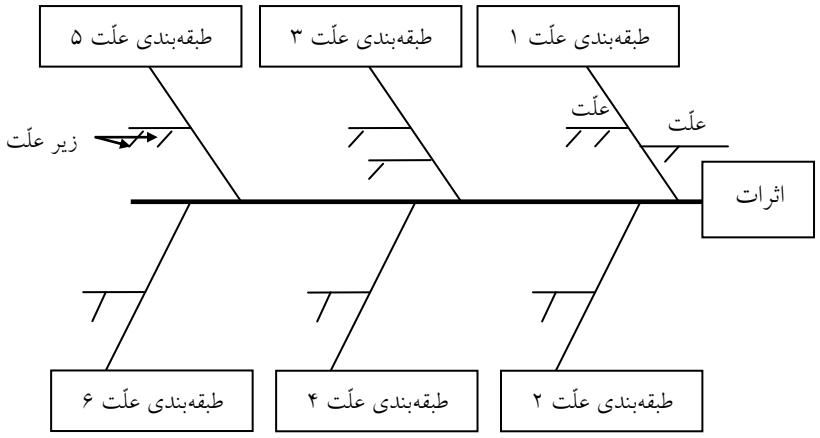
ب.۴.۱۷ فرآیند

تحلیل علّت و معلول باید توسط تیم آگاه از مسئله‌ای که نیاز به درمان دارد انجام شود.

مراحل اصلی در شکل‌دادن تحلیل علّت و معلول به شرح زیر است:

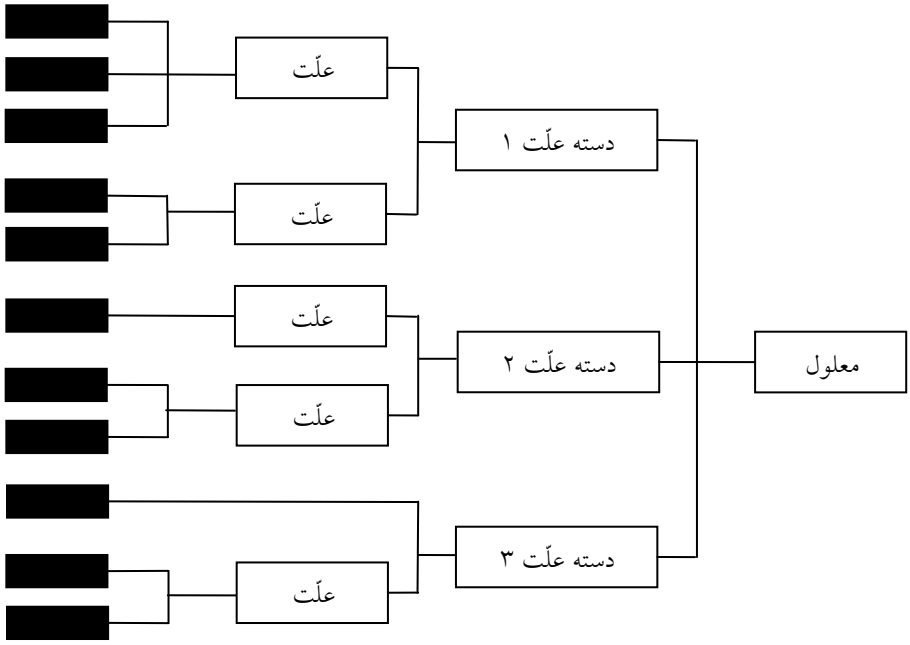
- تعیین معلولی که باید تحلیل شود و قرار دادن آن در کادر. بستگی به شرایط، معلول می‌تواند مثبت (اهداف) یا منفی (مسئله) باشد؛
- تعیین دسته‌های اصلی علل که توسط کادرهایی در نمودار استخوان‌ماهی نشان داده می‌شود. بصورت معمول برای مسئله سیستم، دسته‌ها ممکن است شامل افراد، تجهیزات، محیط، فرایندها و غیره باشد. با این حال، این انتخاب مناسب با چارچوب خاصی باشد؛
- پر کردن علل احتمالی برای دسته‌های اصلی با شاخه‌ها و زیرشاخه‌ها که روابط بین آن‌ها را شرح می‌دهد؛
- پرسش "چرا؟" یا "به چه علّتی؟" برای ارتباط علل؛
- بازبینی تمام شاخه‌ها به منظور بررسی سازگاری و کامل بودن و اطمینان از این که علل بر معلول اصلی تاثیر دارند؛
- شناسایی محتمل‌ترین علل بر پایه نظرات تیم و شواهد دردسترس.

نتایج معمولاً در نمودار استخوان ماهی یا نمودار درختی نمایش داده می‌شود. نمودار استخوان ماهی علل جداگانه را در دسته‌های اصلی جای می‌دهد (توسط خط ستون فقرات ماهی نمایش می‌شود) که شاخه‌ها و زیرشاخه‌ها اصلی‌ترین علل در هر دسته را تشریح می‌کند.



شکل ب.۵ – مثال از نمودار استخوان‌ماهی یا ایشیکاوا

نمایش درختی در ظاهر شبیه درخت خطا است، اگر چه اغلب توسعه درخت از چپ به راست است و از پایین نیست. با این حال، نمی‌تواند کمّی باشد و احتمال پیشامد اصلی ناشی از علل را از عوامل شرکت‌کننده‌ای که احتمالشان مشخص است، تولید کند.



شکل ب.۶ – حالت درختی تحلیل علّت و معلول

نمودار علّت و معلول معمولاً کیفی استفاده می‌شود. این امکان وجود دارد که احتمال مسئله را ۱ فرض کنیم و احتمال علل اصلی و سپس علل‌فرعی را بر پایه درجه ارتباط‌ها اختصاص دهیم. اگرچه عوامل شرکت‌کننده اغلب از راه‌های پیچیده‌ای بر هم اثر و تعامل دارند و مقدار کمّی تولید شده بی‌ارزش است.

ب.۵.۱۷ خروجی‌ها

خروجی تحلیل علّت و معلول نمودار استخوان‌ماهی یا درختی است که علل ممکن و محتمل را بیان می‌کند. سپس این‌ها بصورت تجربی آزمون و اصلاح می‌شود قبل از آنکه پیشنهادات ایجاد شود.

ب.۶.۱۷ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت شامل موارد زیر است:

- شامل کارشناسان اجرایی که در محیط تیم حضور دارند؛
- تحلیل ساختاریافته؛
- شامل کلیه فرضیه‌های محتمل؛
- نمایش تصویری نتایج برای درک آسان؛
- شناسایی زمینه‌هایی که در آن داده بیشتری مورد نیاز است؛
- می‌تواند برای شناسایی عوامل شرکت‌کننده برای اثرات خواسته یا ناخواسته استفاده شود. تمرکز مثبت بر روی موضوع می‌تواند مالکیت و مشارکت بزرگ‌تری را تشویق کند.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- ممکن است تیم تخصص لازم را نداشته باشد؛
- فرایندی کامل نیست و نیاز به بخشی از تحلیل علت ریشه‌ای برای تهیه پیشنهادات دارد؛
- بیشتر تکنیکی تصویری برای طوفان مغزی است تا تکنیک تحلیلی مستقل؛
- جداسازی عوامل سببی در دسته‌های اصلی در شروع تحلیل به این معنی است که رابطه بین دسته‌ها بصورت کافی درنظرگرفته نمی‌شود. برای مثال هنگام خرابی تجهیزات که توسط خطاهای انسانی ایجاد شده است، یا مشکلات انسانی که به علّت طراحی ضعیف ایجاد شده است.

ب.۱۸ تحلیل لایه‌های حفاظتی (LOPA)[۲۷]

ب.۱.۱۸ بررسی اجمالی

LOPA روش نیمه‌کمّی برای تخمین ریسک پیشامد ناخواسته یا سناریو است. این روش وجود تدابیر کافی برای کنترل یا تسکین ریسک را تحلیل می‌کند.

یک جفت علّت–معلول انتخاب می‌شود و لایه‌های حفاظتی پیشگیری‌کننده از منجر شدن علل به پیامدهای نامطلوب شناسایی می‌شود. محاسبات مقداری به منظور کفایت سطح حفاظت برای کاهش ریسک تا سطح قابل‌تحمل انجام می‌شود.

ب.۲.۱۸ کارکرد

LOPA می‌تواند بصورت ساده کیفی استفاده شود تا لایه‌های حفاظتی بین خطر یا پیشامد سببی و نتایج را بررسی کند. معمولاً رویکرد نیمه‌کمّی استفاده می‌شود تا دقت بیشتری را برای غربال فرآیندهایی مانند HAZOP یا PHA ایجاد کند.

LOPA مبنایی برای مشخصات لایه‌های حفاظتی مستقل[۲۸] (IPLs) و سطح یکپارچگی ایمنی[۲۹] (سطوح SIL) برای سیستم‌های ابزاری[۳۰] ارائه می‌کند، که در سری IEC 61508 و IEC 61511 شرح داده شده است، که الزامات سطح یکپارچگی ایمنی(SIL) را در سیستم‌های ابزاری تعیین می‌کند. LOPA می‌تواند برای کمک به موثّر بودن منابع کاهش ریسک اختصاص داده شده، استفاده شود و کاهش ریسک انجام شده را برای هر لایه حفاظتی تحلیل کند.

ب.۳.۱۸ ورودی‌ها

ورودی‌های LOPA شامل:

- اطلاعات اساسی ریسک شامل مخاطرات، علل و پیامدها که از روشی مانند PHA تهیه شده است؛
- اطلاعاتی درباره کنترل‌های موجود یا پیشنهادی؛
- فراوانی پیشامد سببی، احتمال خرابی لایه‌های حفاظتی، اندازه‌گیری پیامدها و تعریف سطح قابل‌تحمل ریسک؛

[27] Layers of protection analysis (LOPA)
[28] Independent protection layers (IPLs)
[29] Safety integrity level (SIL)
[30] Instrumented systems

- فراوانی علل آغازین، احتمال خرابی لایه‌های حفاظتی، اندازه‌گیری پیامدها و تعریف سطح قابل‌تحمل ریسک.

ب.۴.۱۸ فرآیند

LOPA توسط تیمی از متخصصان در رویه زیر انجام می‌شود:

- شناسایی علل آغازین برای نتیجه ناخواسته و جستجوی داده برای فراوانی و پیامدهای آنان؛
- انتخاب یک جفت علّت– معلول؛
- شناسایی لایه‌های حفاظتی که از منجر شدن علل به پیامدهای نامطلوب جلوگیری می‌کند، اثربخشی آن‌ها تحلیل می‌شود؛
- شناسایی لایه‌های حفاظتی مستقل (IPLs) (تمام لایه‌های حفاظتی IPLs نیستند)؛
- تخمین احتمال خرابی هر IPL؛
- فراوانی علّت آغازین با احتمال خرابی هرکدام از IPL ها و احتمال هر اصلاحات شرطی (اصلاحات شرطی برای مثال شخصی حاضری که تحت تاثیر باشد) ترکیب می‌شود تا فراوانی رخداد پیامدهای نامطلوب تعیین شود. مقدار عددی برای فراوانی و احتمال استفاده می‌شود؛
- سطح محاسبه شده ریسک با سطح قابل‌تحمل برای تعیین نیاز به حفاظت بیشتر مقایسه می‌شود.

IPL وسیله یا فعالیتی است که قادر به جلوگیری از پیامدهای نامطلوب فرآیند سناریو، پیشامد سببی مستقل یا هر لایه حفاظتی دیگر همراه با سناریو است.

IPLs شامل:

- ویژگی‌های طراحی؛
- ابزار محافظ فیزیکی؛
- سیستم‌های ارتباطی و خاموشی؛
- هشدارهای بحرانی و مداخلات؛
- محافظت فیزیکی رویدادهای بعدی؛
- سیستم‌های پاسخ اضطراری (رویه‌ها و بازرسی‌ها IPLs نیستند).

ب.۵.۱۸ خروجی‌ها

پیشنهاداتی برای هر کنترل بیشتر و اثربخشی این کنترل‌ها در کاهش ریسک می‌تواند داده شود.

LOPA از تکنیک‌هایی است که از ارزیابی SIL هنگام مواجه با سیستم‌های ابزرای/مرتبط ایمنی استفاده می‌کند.

ب.۶.۱۸ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت شامل موارد زیر است:

- به زمان و منابع کمتر نسبت به تحلیل درخت خطا یا ارزیابی ریسک کمّی کامل نیاز دارد امّا دقیق‌تر از قضاوت ذهنی کیفی است.
- کمک به شناسایی و تمرکز منابع بر حساس‌ترین لایه‌های حفاظتی می‌کند.

- فعالیت‌ها، سیستم‌ها و فرآیندهایی که برای آن‌ها حفاظت کافی وجود ندارد را شناسایی می‌کند؛
- تمرکز بر جدی‌ترین پیامد می‌کند.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- LOPA فقط تمرکز بر جفت علّت- معلول و یک سناریو در زمان واحدی می‌کند. روابط پیچیده بین ریسک‌ها یا بین کنترل‌ها پوشش داده نمی‌شود.
- کمّی‌سازی ریسک برای حالات خرابی معمول محاسبه نمی‌شود.
- LOPA برای سناریوهای خیلی پیچیده و جایی که جفت‌های علّت- معلول زیادی موجود است یا پیامدهای مختلفی بین ذینفعان مختلف تاثیر می‌گذارد، استفاده نمی‌شود.

ب.۷.۱۸ سند مرجع

IEC 61508 (all parts), Functional safety of electrical/electronic/programmable electronicsafety-related systems

IEC 61511, Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector

ب.۱۹ تحلیل درخت تصمیم[۳۱]

ب.۱.۱۹ بررسی اجمالی

درخت تصمیم، تصمیم‌های جایگزین و نتایج را در روش ترتیبی بیان می‌کند که عدم‌اطمینان نتایج را محاسبه می‌کند. این روش مانند درخت پیشامد است و از پیشامد یا تصمیم اولیه آغاز می‌شود و مسیرهای و نتایج مختلف ناشی از پیشامد که می‌توانند اتفاق بیافتد و تصمیمات مختلفی که ممکن است گرفته شود را مدل می‌کند.

ب.۲.۱۹ کارکرد

درخت تصمیم برای مدیریت ریسک پروژه و در شرایطی برای کمک به انتخاب بهترین اقدام که دارای عدم‌اطمینان هستند، استفاده می‌شود. نمایش تصویری همچنین می‌تواند کمک به ارتباط دلایل برای تصمیم‌گیری کند.

ب.۳.۱۹ ورودی‌ها

طرح پروژه با نقاط تصمیم‌گیری. اطلاعاتی در مورد نتایج ممکن تصمیم‌ها و بختی که پیشامدها ممکن است بر تصمیم اثر داشته باشند.

ب.۴.۱۹ فرآیند

درخت تصمیم با تصمیم ابتدایی آغاز می‌شود، به عنوان مثال ادامه پروژه الف بجای پروژه ب. برای ادامه هر دو پروژه فرضی، پیشامدهای مختلف ممکن است اتفاق بیافتد و تصمیم‌های آینده‌نگرانه مختلفی نیاز است گرفته شوند. این‌ها در سه شکل همانند درخت پیشامد بیان می‌شوند. احتمال پیشامدها می‌تواند همراه با هزینه و نتیجه نهایی مسیر تخمین زده شود.

اطلاعات مربوط به بهترین مسیر تصمیم‌گیری بصورت منطقی بیشترین ارزش مورد انتظار محاسبه شده را تولید می‌کند که از تمام احتمالات شرطی در طول مسیر و ارزش نتایج حاصل شده است.

[31] Decision tree analysis

ب.۵.۱۹ خروجی‌ها

خروجی‌ها شامل موارد زیر است:

- تحلیل منطقی ریسک که گزینه‌های مختلفی که ممکن است روی دهد را نشان می‌دهد
- محاسبه ارزش مورد انتظار برای هر مسیر ممکن

ب.۶.۱۹ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت شامل موارد زیر است:

- فراهم کردن ارائه تصویری واضح از جزئیات مسئله تصمیم؛
- توانایی محاسبه بهترین مسیر در طول وضعیت.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- درخت‌های تصمیم بزرگ ممکن است برای ارتباط آسان با دیگران بسیار پیچیده باشد؛
- ممکن است بیش از حد تمایل به ساده‌سازی شرایط داشته باشد برای آنکه نمودار درختی بتواند آن را نشان دهد.

ب.۲۰ ارزیابی قابلیت اطمینان انسان(HRA)[۳۲]

ب.۱.۲۰ بررسی اجمالی

ارزیابی قابلیت اطمینان انسان (HRA) با اثرات انسان بر عملکرد سیستم مواجه است و می‌تواند برای ارزشیابی تاثیر خطاهای انسان بر سیستم استفاده شود.

بسیاری از فرآیندها بصورت بالقوه شامل خطای انسانی هستند، مخصوصاً هنگامی که زمان دردسترس برای تصمیم‌گیری متصدی (اپراتور) کوتاه باشد. احتمال اینکه مسئله به اندازه کافی توسعه یابد تا جدی شود، اندک است. با این حال بعضی اوقات، اقدام انسانی تنها دفاع برای جلوگیری از تبدیل خرابی اولیه به حادثه است.

اهمیت HRA نمایش حوادث مختلف خطاهای انسانی بحرانی است که در توالی پیشامدهای فاجعه بار شرکت دارند. این حوادث اخطاری است در برابر ارزیابی ریسک‌هایی که صرفاً بر سخت‌افزار و نرم‌افزار سیستم تمرکز دارند. این روش خطر نادیده گرفتن خطاهای انسانی ممکن شرکت‌کننده را نشان می‌دهد. علاوه بر این، HRA ها در برجسته کردن خطاهایی که مانع بهره‌وری هستند استفاده می‌شوند و راه‌های آشکاری که این خطاها و دیگر خرابی‌ها (سخت افزاری و نرم‌افزاری) می‌تواند توسط متصدیان و پرسنل نگهداری "بازسازی" شود را نشان می‌دهد.

ب.۲.۲۰ کارکرد

HRA می‌تواند کمّی یا کیفی استفاده شود. بصورت کیفی، برای شناسایی خطاهای انسانی بالقوه و علل آن در جهت کاهش خطاها استفاده می‌شود. HRA کمّی برای تهیه داده خرابی انسانی برای FTA یا دیگر تکنیک‌ها استفاده می‌شود.

ب.۳.۲۰ ورودی‌ها

[32] Human reliability assessment (HRA)

ورودی‌های HRA شامل موارد زیر است:

- اطلاعاتی درباره وظایفی که افراد باید انجام دهند؛
- تجربیات درباره انواع خطاهایی که در عمل رخ می‌دهند و پتانسیل هر خطا؛
- تخصص در مورد خطاهای انسان و کمیّت آن.

ب.۴.۲۰ فرآیند

فرآیند HRA شامل رویه زیر است:

- **تعریف مسئله،** چه نوع حضوری انسان در تحقیق/ارزیابی دارد؟
- **تحلیل وظایف،** چگونه وظایف انجام شود و چه نوع کمکی برای حمایت عملکرد نیاز است؟
- **تحلیل خطا انسان،** چگونه عملکرد وظایف دچار اختلال می‌شود: چه خطاهایی می‌تواند رخ بدهد و چگونه می‌تواند بازسازی شود؟
- **ارائه،** چگونه این خطاها یا خرابی عملکرد وظایف می‌تواند با دیگر پیشامدهای سخت‌افزاری، نرم‌افزاری، و یا محیطی یکپارچه شود و تا احتمال خرابی کلی سیستم را بررسی کند؟
- **غربال،** آیا خطا و وظیفه‌ای حضور دارد که نیاز به محاسبه دقیق نداشته باشد؟
- **کمیّت،** احتمال خطاهای فردی و خرابی وظایف چقدر است؟
- **ارزیابی اثرات،** کدام خطا یا وظیفه بیشترین اهمیت را دارد، به عنوان مثال کدام بالاترین مشارکت در قابلیت اطمینان ریسک را دارند؟
- **کاهش خطا،** چگونه قابلیت اطمینان انسان بیشتری حاصل می‌شود؟
- **مستندات،** کدام جزئیات HRA نیاز به مستند شدن دارند؟

در عمل، فرآیند HRA گام به گام است و گاهی اوقات اجزا (به عنوان مثال تحلیل وظایف و شناسایی خطاها) در موازات یکدیگر انجام می‌شود.

ب.۵.۲۰ خروجی‌ها

خروجی‌ها شامل موارد زیر است:

- لیست خطاهایی که ممکن است رخ دهند و روش‌هایی که توسط آن می‌توان آن‌ها را کاهش داد – ترجیحاً از طریق بازطراحی سیستم؛
- حالات خطا، علل و پیامدهای انواع خطا؛
- ارزیابی کیفی یا کمّی ریسک که توسط خطا مطرح شده است.

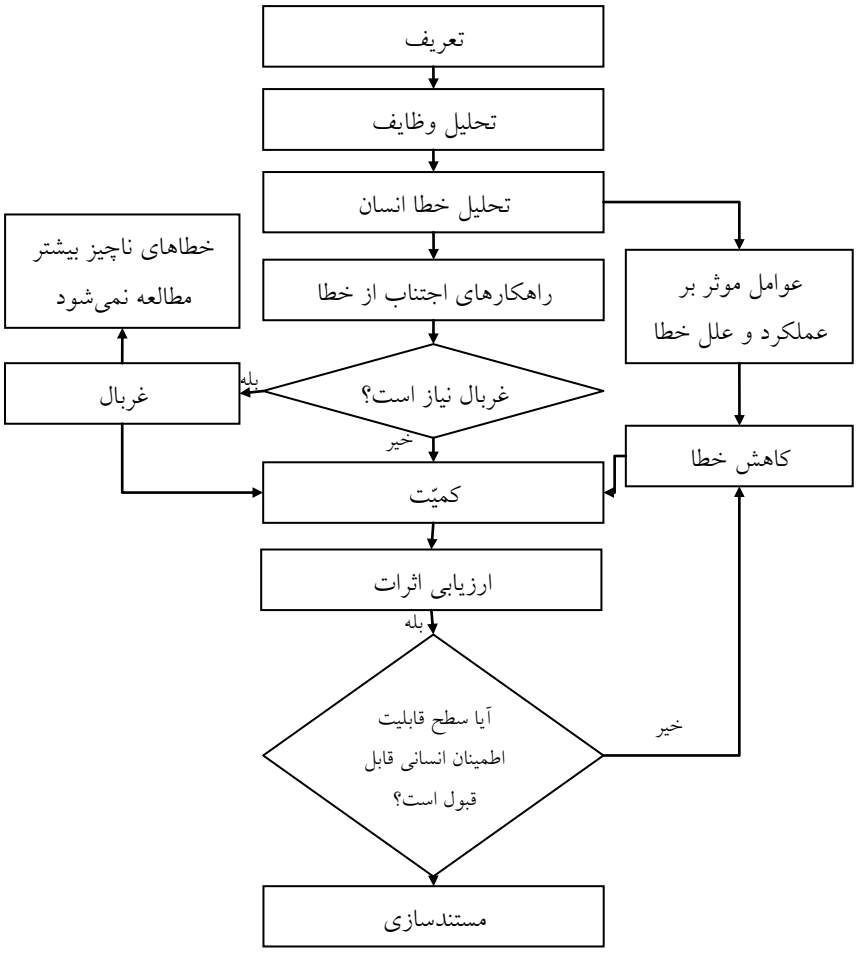
ب.۶.۲۰ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت HRA شامل موارد زیر است:

- HRA مکانیسم رسمی را ارائه می‌دهد که شامل خطای انسانی است و در شرایطی که انسان نقش مهمی را ایفا می‌کند، ریسک‌های این فعالیت‌ها را برای سیستم در نظر می‌گیرد؛
- درنظرگیری رسمی حالات و مکانیسم خطاهای انسانی می‌تواند کمک به کاهش خرابی ناشی از خطاها کند.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- پیچیدگی و تنوع انسان، تعریف حالات و احتمالات خرابی را پیچیده می‌کند؛
- بسیاری از فعالیت‌های انسان‌ها حالت موفقیت/شکست ساده ای ندارد. HRA با خرابی‌های نسبی یا خرابی در کیفیت یا تصمیم‌گیری ضعیف مشکل دارد.



شکل ب.۷ – مثال ارزیابی قابلیت اطمینان انسان

ب.۲۱ تحلیل پاپیونی[۳۳]

ب.۱.۲۱ بررسی اجمالی

تحلیل پاپیونی روش نموداری ساده شرح و تحلیل مسیر ریسک از علل تا پیامدها است. این روش می‌تواند شامل ترکیبی از تفکرات علل پیشامد در تحلیل درخت خطا (که توسط گره‌های پاپیون بیان می‌شود) و پیامدهای تحلیل درخت پیشامد باشد. با این حال تمرکز تحلیل پاپیونی بر روی موانع بین علل و ریسک، و ریسک و پیامدها است. نمودار پاپیونی می‌تواند از درخت‌های خطا یا پیشامد ایجاد شود، امّا اغلب بصورت مستقیم از جلسات طوفان‌ذهنی است.

ب.۲.۲۱ کارکرد

[33] Bow tie analysis

تحلیل پاپیونی برای نمایش ریسک استفاده می‌شود و طیفی از علل ممکن و پیامدها را نشان می‌دهد. زمانی استفاده می‌شود که شرایط تضمین پیچیدگی‌های تحلیل درخت خطای کامل را نمی‌کند یا زمانی‌که تمرکز بر اطمینان از این است که مانع یا کنترلی برای هر مسیر خرابی وجود دارد. زمانی که مسیرهای مستقل واضح منجر به خرابی وجود دارد این روش مفید است.

تحلیل پاپیونی اغلب آسان‌تر از درخت خطا یا پیشامد درک می‌شود، و از این‌رو هنگامی که تحلیل با تکنیک‌های پیچیده تر حاصل شده است، می‌تواند ابزار ارتباطی مفیدی باشد.

ب.۳.۲۱ ورودی‌ها

درکی از اطلاعات علل و پیامدهای ریسک و موانع و کنترل‌هایی که ممکن است برای پیشگیری، تسکین یا تحریک کننده باشد.

ب.۴.۲۱ فرآیند

پاپیون به شرح زیر کشیده می‌شود:

أ. ریسک خاصی برای تحلیل شناسایی می‌شود و در گره مرکزی پاپیون بیان می‌شود.

ب. علل پیشامد شامل منابع ریسک لیست می‌شود (یا مخاطرات در زمینه‌های ایمنی).

ج. مکانیسمی که منبع ریسک منجر به پیشامد بحرانی می‌شود، شناسایی می‌شود.

د. خط‌های بین هر علّت و پیشامد رسم می‌شود و سمت چپ پاپیون شکل می‌گیرد. عواملی که ممکن است تشدید کننده باشند می‌توانند شناسایی شوند و در نمودار جای داده شوند.

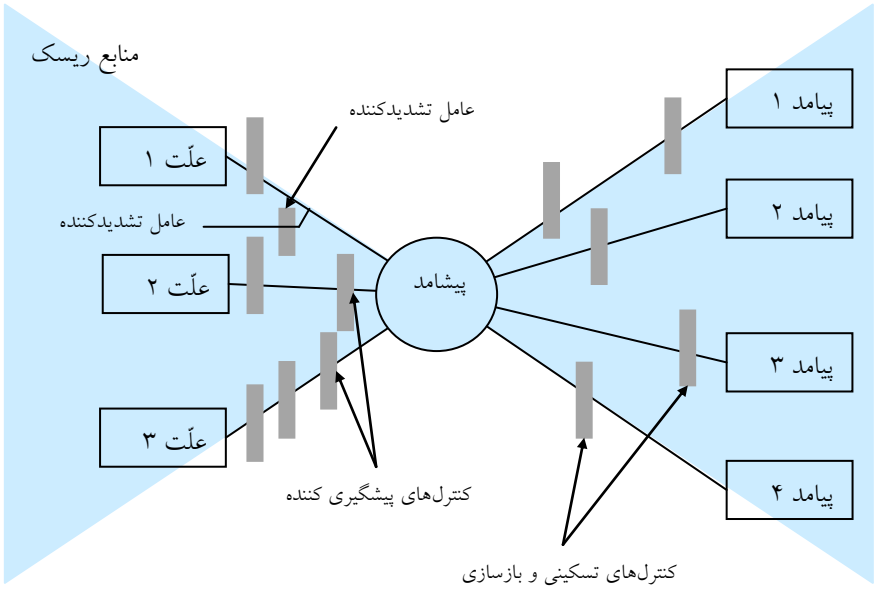
ه. موانعی که از تبدیل هر علّت به پیامد ناخواسته جلوگیری کند می‌توانند بصورت میله‌های عمودی در بین خط‌ها نمایش داده شود. جایی که عواملی می‌تواند باعث تحریک علل شود، موانع این تحریک‌کنندگان هم می‌تواند بیان شود. این رویکرد می‌تواند برای پیامدهای مثبت زمانی که میله‌ها منعکس کننده 'کنترل‌هایی' هستند که از ایجاد پیامدها حمایت می‌کنند.

و. در سمت راست پاپیون پیامدهای متفاوت بالقوه‌ای از ریسک شناسایی شده و خطی از پیشامد ریسک تا هر کدام از پیامدهای بالقوه رسم می‌شود.

ز. موانع پیامدها بصورت میله‌هایی در بین خطوط نمایش داده شده است. این رویکرد می‌تواند برای پیامدهای مثبت زمانی که میله‌ها منعکس کننده 'کنترل‌ها' هستند که از ایجاد پیامدها حمایت می‌کنند.

ح. کارکردهای مدیریتی که از کنترل‌ها حمایت می‌کند (مانند آموزش و بازرسی) می‌توانند در زیر پاپیون نمایش داده شوند و به کنترل‌های مربوطه مرتبط شوند.

در صورتی که مسیرها مستقل باشند، احتمال پیامدخاص یا نتیجه‌ای معلوم باشد و شکل بتواند تخمینی برای اثربخشی کنترل‌ها بدهد آنگاه می‌توان نمودار پاپیونی با سطح کمّی ایجاد کرد. با این حال، در بسیاری از شرایط مسیرها و موانع مستقل نیستند و کنترل‌ها ممکن است رویه واحد باشند و حتی اثربخشی‌ها واضح نباشد. کمّی سازی اغلب بصورت مناسب توسط FTA و ETA انجام می‌شود.



شکل ب.۸ – مثال از نمودار پاپیونی برای پیامدهای ناخواسته

ب.۵.۲۱ خروجی‌ها

خروجی، نمودار ساده از مسیرهای ریسک اصلی و موانع موجود برای پیشگیری و تسکین پیامدهای نامطلوب یا تشویق و تحریک پیامدهای مطلوب است.

ب.۶.۲۱ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت تحلیل پاپیونی شامل موارد زیر است:

- برای درک ساده است و بیان تصویری واضح از مسئله می‌دهد؛
- تمرکز بر کنترل‌های موجود برای پیشگیری و تسکین و اثربخشی این کنترل‌ها دارد؛
- می‌تواند برای پیامدهای مطلوب استفاده شود؛
- نیاز از سطح بالایی از تخصص برای استفاده ندارد.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- نمی‌تواند علل چندگانه را که همزمان روی می‌دهد و علّت پیامدهایی هستند نشان دهد. (به عنوان مثال «و» در درخت خطا قسمت سمت چپ پاپیون را نشان می‌دهد.)
- ممکن است شرایط پیچیده را خیلی ساده‌سازی کند، مخصوصاً هنگامی که برای کمّی سازی تلاش می‌کنیم.

ب.۲۲ نگهداری و تعمیرات بر اساس قابلیت اطمینان[۳۴]

ب.۱.۲۲ بررسی اجمالی

نگهداری و تعمیرات بر اساس قابلیت اطمینان (RCM) روشی برای شناسایی سیاست‌هایی است که برای مدیریت خرابی باید اجرا شود تا ایمنی، دسترس‌پذیری و اقتصاد کارآمد و موثّر برای فعالیت کلیه انواع تجهیزات بدست آید.

[34] Reliability centered maintenance

RCM در حال حاضر روش اثبات شده و پذیرفته شده‌ای است که در طیف وسیعی از صنایع استفاده می‌شود.

RCM فرآیند تصمیم‌گیری برای شناسایی الزامات اجرایی و موثّر نگهداری پیشگیرانه تجهیزات را فراهم می‌کند که مطابق با ایمنی، فعالیت و اقتصاد پیامدهای خرابی‌های قابل شناسایی، و مکانیسم تخریب مرتبط با این خرابی‌ها است. نتیجه نهایی فعالیت در طول فرآیند، قضاوتی در مورد ضرورت انجام وظایف نگهداری یا اقدامات دیگر مانند تغییرات عملیاتی است. جزئیات در مورد استفاده و کارکرد RCM در IEC 60300-3-11 تهیه شده است.

ب.۲.۲۲ کارکرد

تمام وظایف مبتنی بر ایمنی در رابطه با پرسنل و محیط است و بر اساس نگرانی‌های عملیاتی یا اقتصادی است. با این حال باید معیارهایی که وابسته به ماهیت تولید و کاربرد آن است در نظر گرفته شود. برای مثال، فرآیند تولید نیاز به این دارد که از نظر اقتصادی متداوم باشد، و نسبت به ملاحظات زیست محیطی سخت‌گیرانه حساس باشد، در حالی که در مورد تجهیزات دفاعی باید از نظر عملیاتی موفق باشند، امّا معیارهای ایمنی، اقتصادی و محیط زیستی سختگیرانه کمتری دارد. در شرایطی که خرابی‌ها می‌توانند اثرات ایمنی، محیط زیستی، اقتصادی یا عملیاتی جدی داشته باشند، مهمترین مزیّت از اهداف تحلیل حاصل می‌شود.

RCM برای تضمین نگهداری موثّر و کارآمد انجام می‌شود، و عموماً در مرحله طراحی و ایجاد اعمال می‌شود و در مرحله فعالیت و نگهداری استفاده می‌شود.

ب.۳.۲۲ ورودی‌ها

کاربرد موفق RCM نیاز به درک خوب از تجهیزات و ساختارها، محیط عملیاتی، و سیستم‌ها، زیرسیستم‌ها یا آیتم‌های تجهیزات مرتبط که همراه خرابی‌های ممکن هستند و پیامدهای این خرابی‌ها دارد.

ب.۴.۲۲ فرآیند

گام‌های اساسی از برنامه RCM عبارتند از:

- شروع و برنامه‌ریزی؛
- تحلیل خرابی کارکرد؛
- انتخاب کار؛
- اجرا؛
- بهبود مستمر.

RCM مبتنی بر ریسک است و گام‌های اساسی در ارزیابی ریسک را دنبال می‌کند. نوعی از ارزیابی ریسک تحلیل حالت خرابی، اثرات و حساسیت (FMECA) است امّا هنگامی که در این زمینه استفاده می‌شود، به رویکرد خاصی برای تحلیل نیاز دارد.

شناسایی ریسک متمرکز بر شرایطی است که توسط انجام وظایف نگهداری، ممکن است خرابی‌های بالقوه، فراوانی و/یا پیامدهای آنان، حذف شوند یا کاهش یابند. این با شناسایی کارکرد مورد نیاز و استانداردهای عملکرد و خرابی تجهیزات و اجزا که می‌تواند منجر به گسست این کارکردها شود، انجام می‌شود.

تحلیل ریسک شامل تخمین فراوانی هر خرابی بدون نگهداری‌هایی است که بایدانجام شود. پیامدها توسط تعریف اثرات خرابی تعیین می‌شوند. ماتریس ریسک فراوانی خرابی و پیامدها را ترکیب می‌کند و طبقه‌بندی برای سطوح ریسک ایجاد می‌کند.

سپس ارزشیابی ریسک برای انتخاب سیاست مدیریت مناسب خرابی برای هر حالت خرابی انجام می‌شود.

کل فرآیند RCM برای رجوع و بازبینی‌های بعد بصورت گسترده مستند می‌شود. مجموعه‌ای از داده‌های خرابی و نگهداری‌های مرتبط بهبود پایش نتایج و اجرا را ممکن می‌سازد.

ب.۵.۲۲ خروجی‌ها

RCM تعریفی از شرایط نگهداری مانند شرایط پایش، زمان‌بندی بازسازی، زمان‌بندی جایگزینی، یافتن خرابی یا شرایطی که نیاز به نگهداری پیشگیرانه نیست را تعیین می‌کند. دیگر نتایجی که ممکن است از تحلیل گرفته شود شامل طراحی مجدد، تغییرات در عملیات یا رویه‌های نگهداری یا آموزش‌های بیشتر است. سپس فواصل کاری و منابع مورد نیاز شناسایی می‌شود.

ب.۶.۲۲ سند مرجع

IEC 60300-3-11, Dependability management – Part 3-11: Application guide – Reliability centred maintenance

ب.۲۳ تحلیل پنهان (SA)[۳۵] و تحلیل مدار پنهان (SCA)[۳۶]

ب.۱.۲۳ بررسی اجمالی

تحلیل پنهان (SA) روشی برای شناسایی اشتباهات طراحی است. شرایط پنهان، شرایط نهفته سخت‌افزاری، نرم‌افزاری یا یکپارچه‌ای است که ممکن است علّت اتفاق پیشامد ناخواسته باشد یا ممکن است پیشامد مطلوب را مهار کند و بعلّت خرابی اجزا نیست. این شرایط توسط ماهیت تصادفی و توانایی گریز از شناخت در طول دقیق‌ترین سیستم‌های آزمون‌های استاندارد مشخص می‌شود. شرایط پنهان می‌تواند عامل عملیات اشتباه، از دست دادن دسترسی سیستم، تاخیر برنامه، یا حتی مرگ یا جراحت پرسنل شود.

ب.۲.۲۳ کارکرد

تحلیل مدار پنهان (SCA) در اواخر دهه ۱۹۶۰ برای ناسا به منظور یکپارچگی و عملکرد طرح‌های آن ایجاد شد. ابزار مفیدی برای کشف مسیرهای مدار الکتریکی ناخواسته است و کمک به ایجاد راه‌حلی برای هر کارکرد است. با این حال، به عنوان تکنیک پیشرفته، ابزارها برای تحلیل مدار پنهان هم باید پیشرفته باشند. تحلیل پنهانی شامل و فراتر از تحلیل مسیر پنهانی است. این می‌تواند مسائل سخت‌افزاری و نرم‌افزاری موجود در هر تکنولوژی را در خود جای دهد. ابزار تحلیل پنهان می‌تواند تحلیل‌های متعددی مانند درخت خطا، تحلیل حالت خرابی و اثرات (FMEA) تخمین قابلیت اطمینان و غیره را در تحلیل یکپارچه کند و در زمان و هزینه پروژه صرفه جویی کند.

ب.۳.۲۳ ورودی‌ها

[35] Sneak analysis (SA)
[36] Sneak circuit analysis (SCA)

تحلیل پنهان از فرآیند طراحی، که در آن از ابزارهای متفاوتی(شبکه درختان، جنگل، سرنخ‌ها یا سوالاتی که کمک به تحلیل‌گر برای شناسایی شرایط پنهان می‌کند) استفاده می‌شود، تا پیدا کردن نوع خاصی از مسئله منحصربه‌فرد است. شبکه درختان و جنگل، گروه‌بندی مکان‌شناسانه از سیستم واقعی است. هر شبکه درخت زیرفعالیت واحدی را بیان می‌کند و کلیه ورودی‌هایی که ممکن است بر نتیجه زیر فعالیت اثر داشته باشد را نشان می‌دهد. جنگل‌ها از ترکیب شبکه درختان که منجر به نتیجه سیستم خاصی می‌شود ایجاد می‌شوند. جنگل مناسب نتایج سیستم را با کلیه ورودی‌های مرتبط با آن نشان می‌دهد. این موارد، همراه دیگر چیزها، ورودی برای تحلیل می‌شود.

ب.۴.۲۳ فرآیند

مراحل اصلی در تشکیل تحلیل پنهان شامل موارد زیر است:

- آماده‌سازی داده‌ها؛
- ساخت شبکه درخت؛
- ارزشیابی مسیرهای شبکه؛
- توصیه‌ها و گزارش نهایی.

ب.۵.۲۳ خروجی‌ها

مسیر پنهانی، مسیر غیر منتظره یا جریان منطقی درون سیستم است که تحت شرایط مشخصی، می‌تواند کارکرد نامطلوب را ایجاد کند یا از کارکرد مطلوب جلوگیری کند. مسیر ممکن است شامل سخت‌افزار، نرم افزار، اقدامات متصدی، یا ترکیبی از این اجزا باشد. مدار پنهان نتیجه خرابی سخت افزاری نیست امّا شرایط مخفی، طراحی سهوی درون سیستم، کدهای وارده در برنامه‌های نرم‌افزاری، ناشی از خطای انسانی است. چهار طبقه از مدار پنهان وجود دارد:

أ. مسیرهای پنهان: مسیرهای غیرمنتظره که درطول آن ،انرژی، یا توالی منطقی جریان در جهت ناخواسته برقرار است؛

ب. زمان‌بندی پنهان: رخ دادن پیشامدها در توالی غیر منتظره یا متناقض؛

ت. نشانه‌های پنهان: نمایش مبهم یا نادرست از شرایط فعالیت سیستم که ممکن است از سیستم یا اقدام نامطلوب متصدی باشد.

ث. علامت پنهان: علامت نادرست یا مبهم از فعالیت سیستم، به عنوان مثال ورودی‌های سیستم، کنترل‌ها، نمایش مسیرهایی که باعث استفاده نادرست اپراتور از سیستم شود.

ب.۶.۲۳ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت شامل موارد زیر است:

- تحلیل پنهان برای شناسایی اشتباهات طراحی مناسب است؛
- هنگامی که در ارتباط با HAZOP استفاده می‌شود، عالی کار می‌کند؛
- برای استفاده در سیستم‌های چند حالته مانند کارخانجات اتوماتیک یا نیمه‌اتوماتیک بسیار خوب است.

محدودیت‌ها ممکن است شامل:

- این فرآیند تا حدودی متفاوت است و وابسته به استفاده در مدارهای الکتریکی، فرآیندهای تولید، تجهیزات مکانیکی یا نرم‌افزارها است؛
- روش وابسته به تعیین صحیح شبکه درختان است.

ب.۲۴ تحلیل مارکوف

ب.۱.۲۴ بررسی اجمالی

تحلیل مارکوف در شرایطی استفاده می‌شود که حالت آینده سیستم فقط وابسته به حالت فعلی آن باشد. معمولاً برای سیستم‌های قابل تعمیر استفاده می‌شود که می‌توانند چند حالت داشته باشند و استفاده از تحلیل قابلیت‌اطمینان می‌تواند برای تحلیل کارایی این سیستم‌ها نامناسب باشد. روش می‌تواند برای سیستم‌های پیچیده توسط بکارگیری فرآیندهای مارکوف بالاتر با مدل سختگیرانه‌تر، محاسبات ریاضی و فرضیات، تعمیم داده شود.

فرآیند تحلیل مارکوف تکنیک کمّی است و می‌تواند گسسته (با استفاده از احتمال تغییرات بین حالات) یا پیوسته (استفاده از نرخ تغییرات بین حالات) باشد.

هنگامی که تحلیل مارکوف دستی صورت گیرد، ماهیت تکنیک خودش را به سمت استفاده از برنامه‌های کامپیوتری، که بسیاری از آن‌ها در بازار موجود است، سوق می‌دهد.

ب.۲.۲۴ کارکرد

تکنیک تحلیل مارکوف می‌تواند در ساختار سیستم‌های متفاوتی، با تعمیر یا بدون تعمیر، استفاده شود و شامل:

- اجزای مستقل که موازی هستند؛
- اجزای مستقل که سری هستند؛
- سیستم اشتراک‌گذاری بار؛
- سیستم آماده به کار، شامل مواردی‌که انتقال خرابی می‌تواند رخ دهد؛
- سیستم‌های خراب شده.

تکنیک تحلیل مارکوف همچنین می‌تواند برای محاسبه دسترس‌پذیری استفاده شود و شامل محاسبه اجزا یدکی برای تعمیرات است.

ب.۳.۲۴ ورودی‌ها

ورودی‌های اساسی برای تحلیل مارکوف شامل موارد زیر است:

- لیست حالات مختلف سیستم، زیر سیستم یا اجزا (به عنوان مثال کاملاً عملیاتی، بخشی عملیاتی(حالت تخریب)، حالت خرابی، غیره)؛
- درک واضحی از مراحل تغییر ممکن که لازم است مدل شوند. برای مثال، خرابی تایر خودرو نیاز به درنظر گیری چرخ یدک دارد و از این رو نیاز به بازرس دوره‌ای دارد؛
- نرخ تغییرات از حالتی به حالت دیگر، بصورت معمول توسط احتمال تغییرات بین حالات برای پیشامدهای گسسته ، یا نرخ خرابی (λ) و/یا نرخ تعمیر (μ) برای پیشامدهای پیوسته بیان می‌شود.

ب.۴.۲۴ فرآیند

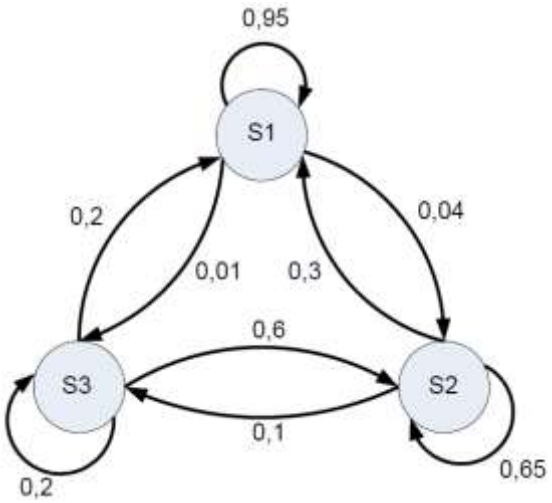
تکنیک تحلیل مارکوف برای مفاهیم "حالات" است – به عنوان مثال"دسترس‌پذیری" و "خرابی" – و تغییر بین این دو حالت در طول زمان مبنایی برای احتمال ثابت تغیرات است. ماتریس احتمال انتقال اتفاقی برای تشریح تغییر بین هر کدام از حالات برای محاسبه نتایج مختلف استفاده می‌شود.

برای نشان دادن تکنیک تحلیل مارکوف، سیستم پیچیده‌ای که می‌تواند فقط سه حالت؛ عملکرد، تخریب‌شده و خراب که با S1 ، S2، S3 تعریف شده‌اند در نظرگرفته شده است. هر روز سیستم در یکی از این حالات قرار دارد. جدول ب.۳ احتمال حالت فردا را که سیستم در حالت Si که i می‌تواند 1، 2، 3 باشد.

جدول ب.۲ – ماتریس مارکوف

		حالت امروز		
		S1	S2	S3
حالت فردا	S1	۰/۹۵	۰/۳	۰/۲
	S2	۰/۰۴	۰/۶۵	۰/۶
	S3	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۲

این مجموعه احتمالات، ماتریس مارکوف یا ماتریس انتقال است. جمع هر کدام از این ستون‌ها یک است و آن‌ها جمع کلیه نتایج ممکن در هر مورد است. سیستم همچنین می‌توان توسط نمودار مارکوف که حالت چرخه‌ای دارد ارائه شود که فلش‌ها انتقالات را همراه با احتمالات همراه آن‌ها بیان می‌کند.



شکل ب.۹ – مثال نمودار سیستم مارکوف

فلش حالتی به خودش معمولاً نشان داده نمی شود، امّا در این مثال برای کامل بودن نشان داده شده است.

Pi احتمال حضور سیستم در حالت i برای i=1,2,3 را بیان می‌کند و سپس معادلات همزمان باید حل شود:

$$P1 = 0.95\ P1 + 0.30\ P2 + 0.20\ P3 \quad (ب.۱)$$

$$P2 = 0.04\ P1 + 0.65\ P2 + 0.60\ P3 \quad (ب.۲)$$

$$P3 = 0.01\ P1 + 0.05\ P2 + 0.20\ P3 \quad (ب.۳)$$

این سه معادله مستقل نیستند و نمی‌توان سه مجهول را پیدا کرد. معادله زیر باید مورد استفاده قرار گیرد و یکی از معادلات فوق کنار گذاشته شود.

$$1 = P1 + P2 + P3 \quad (ب.۴)$$

جواب بترتیب برای حالت 1 ،2 و 3 عبارت از 0.85، 0.13 و 0.02 است. سیستم برای ۸۵ درصد زمان بصورت کامل فعالیت می‌کند، در ۱۳ درصد از زمان در حالت افت قرار دارد و در ۲ درصد زمان خراب است.

درنظرگیری دو آیتم عملیات که موازی با یکدیگر هستند نیاز به عملیات سیستم برای فعالیت دارد. آیتم‌ها می‌توانند عملیاتی یا خراب باشند و دردسترس بودن سیستم بستگی به حالت آیتم‌ها دارد.

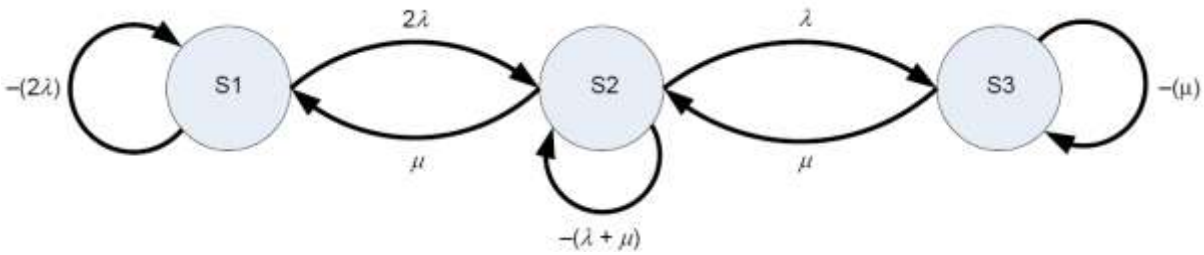
این حالات می‌تواند شامل:

حالت ۱ هر دو آیتم از نظر فعالیت سالم هستند؛

حالت ۲ یک آیتم خراب و تحت تعمیر است، و دیگری فعال است؛

حالت ۳ هر دو آیتم خراب و یکی تحت تعمیر است؛

اگر نرخ خرابی‌ها برای هر آیتم پیوسته باشد λ و نرخ تعمیرات μ فرض می‌شود سپس نمودار تغییرات شامل:



شکل ب.۱۰ – مثالی از نمودار حالت انتقال

انتقال از حالت یک به حالت دو دارای 2λ به عنوان خرابی است برای هر دو آیتم است که سیستم را به حالت دو می‌رساند.

Pi(t) احتمال حالت اولیه i در زمان t است؛ و

Pi(t+δt) احتمال حالت نهایی در زمان t+δt است.

ماتریس احتمال انتقال شامل:

جدول ب.۳ – ماتریس نهایی مارکوف

		حالت اولیه		
		P1(t)	P2(t)	P3(t)
حالت نهایی	P1(t+δt)	-2λ	μ	0
	P2(t+δt)	2λ	−(λ+μ)	μ
	P3(t+δt)	0	λ	−μ

به وضوح روشن است که ارزش صفر در انتقال از حالت یک به حالت سه یا از حالت سه به حالت یک ممکن نیست. همچنین، هنگام تعیین نرخ جمع ستون صفر می‌شود.

معادلات همزامان می‌شود:

$$dP1/dt = -2\lambda\ P1(t) + \mu\ P2(t) \quad (ب.۵)$$

$$dP2/dt = 2\lambda\ P1(t) + -(\lambda+\mu)\ P2(t) + \mu\ P3(t) \quad (ب.۶)$$

$$dP3/dt = \lambda\ P2(t) + -\mu\ P3(t) \quad (ب.۷)$$

برای سادگی، فرض می‌شود که دسترسی‌های مورد نیاز حالت، دردسترس هستند.

هنگامی که δt به بینهایت میل می‌کند، dpi/dt به صفر متمایل می‌شود و معادله برای حل ساده‌تر می‌شود. معادله اضافه که در معادله (ب.۴) نشان داده شده است همچنین استفاده می‌شود:

اکنون معادله $A(t) = P1(t) + P2(t)$ می‌تواند بیان شود:

$$A = P1 + P2$$
$$A = (\mu^2 + 2\lambda\mu) / (\mu^2 + 2\lambda\mu + \lambda^2)$$

ب.۵.۲۴ خروجی‌ها

خروجی تحلیل مارکوف احتمالات متفاوت از حالات مختلف است، و بنابراین تخمینی از حالات خرابی و/یا دسترس‌پذیری یکی از اجزای اساسی سیستم است.

ب.۶.۲۴ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت تحلیل مارکوف شامل موارد زیر است:

- توانایی محاسبه احتمالات برای سیستم‌های با قابلیت تعمیر و حالات تخریب متفاوت.

محدودیت‌های تحلیل مارکوف شامل موارد زیر است:

- فرض احتمال ثابت تغییر حالت؛ برای خرابی یا تعمیرات؛
- کلیه پیشامدها از نظر آماری مستقل هستند و حالات آینده مستقل از تمام حالات گذشته هستند، بجز حالات قبلی نزدیک؛
- نیاز به دانش کلیه احتمالات حالات تغییر دارد؛
- دانش عملیات ماتریس؛
- نتایج با پرسنل غیر فنی سخت ارتباط برقرار می‌کند.

ب.۷.۲۴ مقایسه

تحلیل مارکوف مشابه تحلیل شبکه پتری[۳۷] در پایش و مشاهده حالت سیستم است، اگرچه از شبکه پتری متفاوت است و می‌تواند حالات مختلف را در زمان واحد در نظر بگیرد.

ب.۸.۲۴ سند مرجع

IEC 61078, Analysis techniques for dependability – Reliability block diagram and Boolean methods

IEC 61165, Application of Markov techniques

ISO/IEC 15909 (all parts), Software and systems engineering – High-level Petri nets

ب.۲۵ شبیه‌سازی مونت‌کارلو[۳۸]

ب.۱.۲۵ بررسی اجمالی

بسیاری از سیستم‌ها برای اثرات عدم‌اطمینان بر آن‌ها و مدل کردن با استفاده از تکنیک‌های تحلیلی پیچیده هستند، امّا می‌توان با در نظر گرفتن ورودی‌هایی به عنوان متغیر تصادفی و به تعداد N محاسبات (که شبیه‌سازی نامیده می‌شود) توسط نمونه‌گیری از ورودی‌ها به منظور بدست آوردن N نتیجه ممکن که مورد نظر است، ارزشیابی شوند.

[37] Petri Net
[38] Monte Carlo simulation

این روش می‌تواند با شرایط پیچیده‌ای که درک و حل آن برای روش‌های تحلیل خیلی دشوار است مواجهه کند. سیستم می‌تواند با صفحات گسترده و دیگر ابزارهای معمول ایجاد شود، امّا ابزارهای پیچیده‌تر به منظور پشتیبانی از الزامات پیچیده، به آسانی دردسترس هستند و خیلی از آن‌ها در حال حاضر نسبتاً ارزان هستند. وقتی تکنیک برای اولین بار ایجاد شد، تعداد تکرارهای مورد نیاز برای شبیه‌سازی مونت‌کارلو فرایند را کند و زمان بر کرده بود، امّا پیشرفت در کامپیوترها و تحولات نظری، مانند نمونه‌گیری لاتین هایپرکیوب[۳۹]، زمان فرآیند را برای بسیاری از فعالیت‌ها ناچیز کرد.

ب.۲.۲۵ کارکرد

شبیه‌سازی مونت‌کارلو ابزار ارزشیابی اثرات عدم‌اطمینان سیستم‌ها را در طیف گسترده‌ای از شرایط فراهم می‌کند. عموماً برای ارزشیابی طیفی از نتایج ممکن و فراوانی نسبی ارزش‌ها در آن محدوده برای اندازه‌گیری کمّی سیستم مانند هزینه، زمان، توان، تقاضا و اقدامات مشابه استفاده می‌شود. شبیه‌سازی مونت‌کارلو ممکن است برای دو هدف متفاوت استفاده شود:

- گسترش عدم‌اطمینان بر مدل‌های تحلیلی معمول؛
- محاسبه احتمالات هنگامی که تکنیک‌های تحلیلی کار نمی‌کند.

ب.۳.۲۵ ورودی‌ها

ورودی برای شبیه‌سازی مونت‌کارلو شامل مدل خوب از سیستم و اطلاعاتی در مورد انواع ورودی‌ها، منابع عدم‌اطمینان که باید بیان شود و نتایج مورد نیاز است. داده‌های ورودی با عدم‌اطمینان بیان شده توسط متغیر تصادفی که که توزیعی بیشتر یا کمتر مطابق با سطح عدم‌اطمینان داشته باشد. توزیع‌های یکنواخت، مثلثی، نرمال، لگاریتمی اغلب به این منظور استفاده می‌شود.

ب.۴.۲۵ فرآیند

فرایند به شرح زیر است:

أ. یک مدل یا الگوریتم که تا حد ممکن رفتار سیستم در حال مطالعه را بیان می‌کند.

ب. مدل چندین بار توسط اعداد تصادفی برای تولید نتایج مدل اجرا می‌شود (شبیه‌سازی سیستم)؛ هنگام استفاده از مدل اثرات عدم‌اطمینان مدل به فرم معادله رابطه بین پارامترهای ورودی و نتایج را بیان می‌کند. مقادیر انتخاب شده برای ورودی‌ها از توزیع احتمال مناسب وارد می‌شود که ماهیت عدم‌اطمینان را در این پارامترها بیان کند.

ت. در هر صورت کامپیوتر مدل را به دفعات (اغلب بالای ۱۰۰۰۰ مرتبه) با ورودی‌های مختلف اجرا می‌کند و نتایج متعددی تولید می‌کند. این فرآیند با استفاده از آمار عمومی اطلاعاتی مانند ارزش متوسط، انحراف استاندارد، فاصله‌اطمینان را تولید می‌کند.

مثالی از شبیه‌سازی در زیر آمده است.

دو آیتم عملیاتی موازی با یکدیگر را در نظر می‌گیریم که تنها یکی برای کارکرد سیستم مورد نیاز است. آیتم اول اطمینان ۰.۹ و دیگری ۰.۸ دارد.

[39] Latin-hypercube sampling

این امکان وجود دارد که جدولی با ستون‌های مشابه زیر را ایجاد کنیم.

جدول ب.۴ – مثال شبیه‌سازی مونت‌کارلو

	آیتم ۲		آیتم ۱		
سیستم	کارکرد؟	عدد تصادفی	کارکرد؟	عدد تصادفی	شماره شبیه‌سازی
۱	بله	۰/۰۵۹ ۳۵۵	بله	۰/۵۷۷ ۲۴۳	۱
۱	بله	۰/۳۱۱ ۳۲۴	بله	۰/۷۴۶ ۹۰۹	۲
۱	نه	۰/۹۱۹ ۷۶۵	بله	۰/۵۴۱ ۷۲۹	۳
۱	بله	۰/۶۴۳ ۵۱۴	بله	۰/۴۲۳ ۲۷۴	۴
۱	بله	۰/۵۳۹ ۳۴۹	نه	۰/۹۱۷ ۷۷۶	۵
۰	نه	۰/۹۷۲ ۵۰۶	نه	۰/۹۹۴ ۰۴۳	۶
۱	نه	۰/۹۵۰ ۲۴۱	بله	۰/۰۸۲ ۵۷۴	۷
۱	نه	۰/۹۱۹ ۸۶۸	بله	۰/۶۶۱ ۴۱۸	۸
۱	بله	۰/۳۶۷ ۵۵۵	بله	۰/۲۱۳ ۳۷۶	۹
۱	بله	۰/۱۱۹ ۲۱۵	بله	۰/۵۶۵ ۶۵۷	۱۰

تولید کننده تصادفی اعدادی بین صفر تا یک را تولید می‌کند تا مقایسه‌ای بین احتمال هر کدام از آیتم‌ها برای تعیین کارکرد سیستم انجام شود. فقط با ۱۰ اجرا انتظار نمی‌رود که نتیجه ۰.۹ به عنوان نتیجه‌ای دقیق اعمال شود. رویکرد معمول این است که محاسبه‌گر برای مقایسه نتایج کلی فرآیند شبیه‌سازی برای حصول سطح دقت مورد نیاز ایجاد می‌شود. در این مثال، نتیجه ۰/۹۷۹ ۹ بعد از ۲۰۰۰۰ تکرار بدست آمده است.

مدل بالا می‌تواند در روش‌های مختلفی گسترش یابد. برای مثال:

- توسعه خود مدل (مانند درنظرگیری فعال شدن سریع آیتم دوم هنگامی که آیتم اول خراب می‌شود)؛
- تغییر احتمال ثابت متغیر (مثال خوبی از توزیع مثلثی) هنگامی که احتمال دقیق تعریف نشده است؛
- استفاده از ترکیب نرخ خرابی همراه با ایجادگر تصادفی برای استخراج زمان خرابی (نمایی، وایبول، یا دیگر توزیع‌ها) و تعیین زمان تعمیر.

شامل کاربرد، در بین سایر چیزها، ارزیابی عدم‌اطمینان در پیش‌بینی‌های مالی، عملکرد سرمایه‌گذاری، هزینه پروژه و پیش‌بینی زمان‌بندی، شکست فرآیند اقتصادی و نیازهای نیروی انسانی است.

تکنیک‌های تحلیلی قادر به تهیه نتایج هنگامی‌که عدم‌اطمینان در داده‌های ورودی و یا حتی خروجی‌ها وجود دارد، نیستند.

ب.۵.۲۵ خروجی‌ها

خروجی می‌تواند ارزش تکی، مانند آنچه در مثال بالا تعیین شد، می‌تواند نتیجه شرح توزیع احتمال یا فراوانی باشد یا شناسایی کارکرد مهمی در مدل که اثرات بزرگی بر نتایج دارد.

عموماً، شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای ارزیابی هر توزیع کامل از نتایج که می‌تواند روی دهد یا اندازه‌گیری کلیدی از توزیع‌هایی مانند:

- احتمال نتیجه ناشی از تعاریف؛
- ارزش نتایج که صاحبان مسئله سطح معینی از اعتماد را دارند که نباید بیشتر یا کمتر باشد، هزینه‌ای که کمتر از ۱۰٪ شانس دارد و یا دوره زمانی که بیشتر ۸۰٪ مشخص فراتر می‌رود.

تحلیل روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌تواند وزن اهمیت نسبی عوامل کار را مشخص کند و اهداف مفید برای تاثیر عدم‌اطمینان بر نتایج را شناسایی کند.

ب.۶.۲۵ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت تحلیل مونت‌کارلو شامل موارد زیر است:

- در اصل این روش می‌تواند هر توزیعی از متغیر ورودی را شامل توزیع استخراج شده از مشاهدات را به سیستم ارتباط دهد؛
- مدل‌ها برای توسعه نسبتاً ساده هستند و می‌توانند تا نقطه مورد نظر گسترش یابند؛
- هر گونه تاثیر یا رابطه ناشی از واقعیت می‌تواند بیان شود و شامل اثرات ظریف مانند وابستگی‌های شرطی؛
- تحلیل حساسیت برای شناسایی ضعف‌ها و قوت‌ها می‌تواند بکار رود؛
- مدل به راحتی درک می‌شود و رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌ها شفاف است؛
- مدل‌های رفتاری کارآمد مانند شبکه پتری (IEC 62551) دردسترس هستند که برای اثبات اهداف شبیه‌سازی مونت‌کارلو بسیار مفید هستند؛
- اندازه‌گیری دقیق از نتایج را فراهم می‌کند؛
- نرم‌افزارها به راحتی دردسترس هستند و نسبتاً ارزان هستند.

محدودیت‌ها شاملموارد زیر است:

- دقت راه‌حل بستگی به تعداد شبیه‌سازی‌هایی دارد که انجام می‌شود (با افزایش سرعت کامپیوترها، این محدودیت کمتر اهمیت دارد)؛
- مرتبط با توانایی نشان دادن عدم‌اطمینان در پارامترهایی با توزیع معتبر است؛
- مدل‌های بزرگ و پیچیده ممکن است طراح را به چالش بکشد و تعامل ذینفعان با فرآیند را دشوار کند؛
- تکنیک ممکن است برای پیشامدهای با پیامد بالا و احتمال کم کفایت نداشته باشد و بنابراین اجازه نمی‌دهد ریسک‌پذیری سازمان در تحلیل منعکس شود.

ب.۷.۲۵ سند مرجع

IEC 61649, Weibull analysis

IEC 62551, Analysis techniques for dependability – Petri net techniques2

ISO/IEC Guide 98-3:2008, Uncertainty measurement – Part 3: Guide to the of uncertainty in measurement (GUM:1995)

ب.۲۶ آمار بیزی[40] و شبکه‌های بیز[41]

ب.۱.۲۶ بررسی اجمالی

[40] Bayesian statistics
[41] Bayes Nets

آمار بیزی به کشیش توماس بیز[۴۲] نسبت داده می‌شود. این روش فرض می‌کند هرگونه اطلاعات شناخته‌شده (از قبل) می‌تواند با اندازه‌های بعدی (پسین) ترکیب شود تا احتمال کلی تخمین زده شود. حالت کلی قضیه بیز می‌تواند بصورت زیر بیان شود:

$$P(A\,|B) = \{P(A)p(B\,|A)\}/\sum_i P(B\,|E_i)P(E_i)$$

که

احتمال X با P(X) مشخص شده است؛

احتمال X به شرط آنکه Y اتفاق افتاده باشد با P(X|Y) مشخص شده است؛ و E_i پیشامد i ام است.

در ساده‌ترین حالت معادله به شکل زیر کاهش می‌یابد:

$$P(A\,|B) = \{P(A)p(B\,|A)\}/\mathrm{P(B)}$$

آمار بیزی از آمار کلاسیک متفاوت است و در آن فرض نمی‌شود که تمام پارامترهای توزیعی ثابت هستند، امّا آن پارامترها متغیر تصادفی هستند. احتمال بیزی خیلی راحتر درک می‌شود چون درجه اعتقاد افراد به پیشامد مشخصی را در نظر بگیرد که مخالف آمار کلاسیک است که بر پایه شواهد فیزیکی است. در رویکرد بیزی که بر اساس تفسیر ذهنی احتمالات است، پایه‌ای برای تصمیم‌گیری و ایجاد و توسعه شبکه‌های بیزی فراهم می‌کند (یا شبکه‌های اعتقادی[۴۳]، شبکه‌های بیزی).

شبکه‌های بیزی از مدل نمایشی برای بیان مجموعه‌ای از متغیرها و روابط احتمالی آن‌ها استفاده می‌کند. این شبکه تشکیل شده از گره‌هایی است که متغیر تصادفی را بیان می‌کنند و با پیکان‌هایی از گره والدین[۴۴] به گره فرزندان[۴۵] ارتباط برقرار می‌کند، (که در آن گره والدین متغیری است که مستقیماً تحت تاثیر متغیر دیگر است).

ب.۲.۲۶ کارکرد

در سال‌های اخیر استفاده از تئوری وشبکه‌های بیز نسبتاً گسترده شده است که بدلیل جذبه بصری و همچنین دردسترس بودن ابزارهای محاسبه نرم‌افزاری آن است. شبکه‌های بیز در طیف وسیعی از موضوعات استفاده می‌شود: تشخیص پزشکی، مدل‌سازی تصویر، ژنتیک، تشخیص گفتار، اقتصاد، اکتشاف فضایی، و در موتورهای جستجوی قدرتمند امروزه کاربرد دارد. آن‌ها می‌توانند در هر زمینه‌ای که الزاماتی در مورد پیدا کردن متغیرهای شناخته نشده از طریق استفاده از روابط ساختاری و داده‌ها باشد، ارزشمند باشند. شبکه‌های بیز می‌تواند برای آموزش روابط علّت و معلولی استفاده شود و درکی در مورد دامنه مسئله و پیش‌بینی مداخله پیامدها بدهد.

ب.۳.۲۶ ورودی‌ها

ورودی‌ها مشابه ورودی‌های مدل مونت‌کارلو است. برای شبکه بیز، مثالی از مراحلی که باید انجام شود شامل شرح زیر است:

- تعریف متغیرهای سیستم؛
- تعریف ارتباط علّت و معلولی بین متغیرها؛
- مشخص کردن احتمالات شرطی و پیشین؛

[42] Thomas Bayes
[43] Belief Nets
[44] Parent node
[45] Child node

- اضافه کردن شواهد به شبکه؛
- به‌روزرسانی عقاید؛
- استخراج عقاید پسین.

ب.۴.۲۶ فرآیند

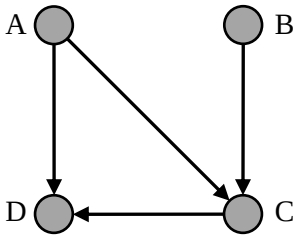
تئوری بیز را می‌توان برای طیف وسیعی از روش‌ها به کار برد. این مثال ایجاد جدول بیز را در نظر می‌گیرد که برای تست پزشکی و تعیین بیماری بیمار استفاده می‌شود. اعتقاد قبل از تست این است که ۹۹٪ جمعیت قبل از تست این بیماری را ندارند و ۱٪ این بیماری را دارند، به عنوان اطلاعات پیشین. دقت تست نشان می‌دهد که اگر فردی این بیماری را داشته باشد، نتایج تست در ۹۸٪ موارد مثبت است. همچنین احتمال این‌که شما این بیماری را نداشته باشید و نتیجه تست مثبت باشد ۱۰٪ است. جدول بیز اطلاعات زیر را فراهم کرده است:

جدول ب.۵ – داده‌های جدول بیز

	پیشین	احتمال	تولید شده	پسین
داشتن بیماری	۰/۰۱	۰/۹۸	۰/۰۰۹ ۸	۰/۰۹۰۱
نداشتن بیماری	۰/۹۹	۰/۱۰	۰/۰۹۹ ۰	۰/۹۰۹۹
جمع	۱		۰/۱۰۸ ۸	۱

با استفاده از قانون بیز، احتمال تولید شده با ترکیب پیشن و احتمال تعیین می‌شود. احتمال پسین از ارزش احتمال تولید شده بر احتمال کل حاصل می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که نتیجه تست مثبت از ۱٪ به ۹٪ افزایش پیدا کرده است. از همه مهمتر، احتمال قوی وجود دارد که حتی با آزمایش مثبت، داشتن بیماری بعید باشد. بررسی معادله ((۰/۹۹×۰/۱) + (۰/۰۱×۰/۹۸)) / (۰/۰۱×۰/۹۸) نشان می‌دهد که "ارزش تست مثبت بدون داشتن بیماری" نقش اصلی را در ارزش‌های پسین بازی می‌کند.

در نظر گیری شبکه بیز به شرح زیر است:



شکل ب.۱۱– نمونه شبکه بیز

با استفاده از شرایط احتمال پیشین تعریف شده و که در جدول آمده است و استفاده از نمادY برای مثبت و N برای منفی، که مثبت به معنی "داشتن بیماری" است، که ممکن است افزوده شود و N پایین بیاید.

جدول ب.۶ – احتمالات پیشین برای گره‌های A و B

P(A=Y)	P(A=N)	P(B=Y)	P(B=N)
۰/۹	۰/۱	۰/۶	۰/۴

جدول ب.۷ – احتمال شرطی برای گره C با تعریف گره‌های A و B

A	B	P(C=Y)	P(C=N)
Y	Y	۰/۵	۰/۵
Y	N	۰/۹	۰/۱
N	Y	۰/۲	۰/۸
N	N	۰/۷	۰/۳

جدول ب.۸ – احتمال شرطی برای گره D با تعریف گره A و گره C

A	C	P(D=Y)	P(D=N)
Y	Y	۰/۶	۰/۴
Y	N	۱/۰	۰/۰
N	Y	۰/۲	۰/۸
N	N	۰/۶	۰/۴

برای تعیین احتمال پسین P (A|D=N,C=Y)، لازم است ابتدا P (A,B|D=N,C=Y) محاسبه شود.

با استفاده زا قانون بیز، ارزش P (D|A,C) P(C|A,B) P(A) P(B) همانطور که در زیر نشان داده شده تعیین می‌شود و آخرین ستون احتمال نرمال را نشان می‌دهد که جمعش یک می‌شود و از مثال قبل استخراج شده است (گرد کردن نتایج).

جدول ب.۹ – احتمالات پسین برای گره‌های A و Bبا تعریف گره C و گره D

A	B	P (D|A,C) P(C|A,B) P(A) P(B)	P(D=N)
Y	Y	۰/۴ × ۰/۵ × ۰/۹ × ۰/۶ =۰/۱۱۰	۰/۴
Y	N	۰/۴ × ۰/۹ × ۰/۹ × ۰/۴ =۰/۱۳۰	۰/۴۸
N	Y	۰/۸ × ۰/۲ × ۰/۱ × ۰/۶ =۰/۰۱۰	۰/۰۴
N	N	۰/۸ × ۰/۷ × ۰/۱ × ۰/۴ =۰/۰۲۲	۰/۰۸

برای استخراج P (A|D=N, C=Y)، تمام ارزش B نیاز است جمع شود:

جدول ب.۱۰ – احتمالات پسین برای گره A تعریف گره C و گره D

P (A=Y|D=N, C=Y)	P (A=N|D=N, C=Y)
۰/۸۸	۰/۱۲

این نشان می‌دهد احتمال P (A=N) از ۰/۱ تا ۰/۱۲ افزایش داشته است که فقط تغییری کوچک است. در سوی دیگر، P (B=N|D=N,C=Y) از ۰/۴ تا ۰/۵۶ که تغییری مهمتر است.

ب.۵.۲۶ خروجی‌ها

رویکرد بیزی می‌تواند همانند آمار کلاسیک و و در همان سطح با طیف گسترده‌ای از نتایج استفاده شود، به عنوان مثال تحلیل داده‌ها به منظور استخراج تخمین نقطه‌ای و فاصله اطمینان. محبوبیت اخیر در رابطه با شبکه

بیز استخراج توزیع پسین است. نتایج تصویری درک آسانی از مدل فراهم می‌کند و داده‌ها می‌توانند به آسانی تغییر کند و ارتباط و حساسیت پارامترها در نظر گرفته شود.

ب.۶.۲۶ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت:

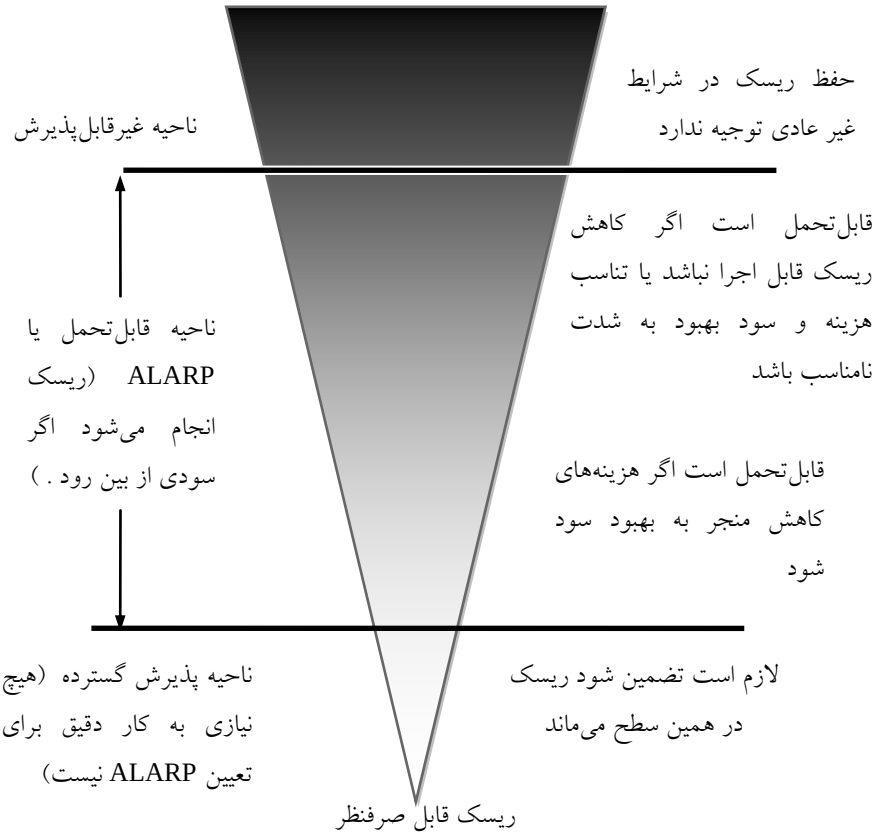
- آنچه مورد نیاز است از قبل شناخته شده است؛
- اظهارات استنباطی برای درک آسان هستند؛
- قانون بیز تمام چیزی است که مورد نیاز است؛
- یک مکانیسم برای اعتقادات ذهنی از مسئله فراهم می‌کند؛

محدودیت‌ها:

- تعریف کلیه رابطه‌های در شبکه‌های بیز برای سیستم‌های پیچیده مسئله‌ساز است؛
- رویکرد بیزی نیاز به آگاهی از بسیاری از احتمالات شرطی دارد که عموماً توسط متخصصین فراهم شده است. ابزارهای نرم افزاری صرفاً می‌توانند پاسخ‌ها را بر اساس این فرضیات فراهم کنند.

ب.۲۷ منحنی‌های FN [46]

ب.۱.۲۷ بررسی اجمالی



شکل ب.۱۲ – مفاهیم ALARP

[46] FN curves

منحنی FN، نمایش تصویری از احتمال پیشامدهایی است که سطح مشخصی از آسیب را برای جمعیت مشخصی ایجاد می‌کند. اغلب اوقات به فراوانی تلفات روی داده شده رجوع می‌کنند.

منحنی‌های FN فراوانی تجمعی (F) را برای مواردی که N یا تعداد بیشتری از جمعیت تحت تاثیر باشند نشان می‌دهد. ارزش بالای N که ممکن است رخ دهد با فراوانی بالا F بسیار مورد علاقه است زیرا آن‌ها ممکن است از نظر اجتماعی یا سیاسی قابل‌پذیرش نباشد.

ب.۲.۲۷ کارکرد

منحنی‌های FN روشی برای نشان دادن نتایج تحلیل ریسک است. خیلی از پیشامدها دارای پیشامدهای کم با احتمال زیاد و پیشامدهای زیادی با احتمال کم هستند. منحنی‌های FN نمایشی از سطح ریسک را فراهم می‌کنند که، خطی این طیف را بیان می‌کند به جای آنکه یک نقطه نشان دهنده یک جفت احتمال پیامد باشد.

منحنی‌های FN برای مقایسه ریسک استفاده شوند، برای مثال مقایسه ریسک پیش‌بینی‌شده در برابر معیارهای تعریف شده برای منحنی FN، یا مقایسه ریسک پیش‌بینی‌شده با داده‌های تاریخی حوادث، یا معیارهای تصمیم‌گیری (همچنین منحنی F/N هم نمایش داده می‌شود).

منحنی‌های FN می‌تواند برای طراحی هر سیستم یا فرآیند ، یا برای مدیریت سیستم‌های موجود استفاده شود.

ب.۳.۲۷ ورودی‌ها

ورودی‌ها از موارد زیر است:

- مجموعه جفت‌های احتمال پیامد برای دوره زمانی؛
- استخراج داده از تحلیل ریسک کمّی که تخمین احتمال را برای تعداد مشخصی از تلفات می‌دهد؛
- داده از سوابق تاریخی و تحلیل ریسک کمّی.

ب.۴.۲۷ فرآیند

داده‌های موجود بر روی گراف با تعداد مشخص تلفات (برای سطح مشخصی از آسیب، برای مثال مرگ) رسم می‌شوند و طولی با احتمال تلفات N یا بیشتر را در مختصات شکل می‌دهند. بعلّت طیف بزرگ ارزش‌ها، هر دو محور معمولاً در مقیاس لگاریتمی هستند.

منحنی‌های FN از نظر آماری ممکن است از اعداد "واقعی" از خسارت‌های گذشته باشد یا از تخمین مدل ساده‌سازی محاسبه شده باشد. داده‌های استفاده شده و فرضیات ساخته شده ممکن است به معنای این باشد که دو نوع از منحنی FN به اطلاعات مختلف نیاز دارد و باید بطور جداگانه و برای مقاصد مختلف مورد استفاده قرار گیرد. در کل، منحنی‌های تئوری FN برای طراحی سیستم‌ها بسیار مفید است، و منحنی آماری FN برای مدیریت سیستم موجود خاصی بسیار مفید است.

استخراج هر دو رویکرد می‌تواند خیلی زمان‌گیر باشد بنابراین غیر معمول نیست که از ترکیبی از دو حالت استفاده شود. سپس داده‌های تجربی دقت نقاط تلفات شناخته‌شده و اتفاق افتاده را ثابت می‌کند که حوادث/سانحه در دوره زمانی مشخص و تحلیل ریسک کمّی دیگر نقاط را با برون‌یابی و درون‌یابی مشخص می‌کند.

نیاز به درنظرگرفتن حوادث با فراوانی کم و پیامدهای بالا ممکن است به درنظرگیری دوره زمانی بلند برای جمع‌آوری داده‌های کافی جهت تحلیل مناسب نیاز داشته باشد. این ممکن است داده‌های موجود را دچار تردید کند اگر پیشامد آغازین در طول زمان تغییر کند.

ب.۵.۲۷ خروجی‌ها

خطی که نشان‌دهنده ریسک در سراسر طیفی از ارزش‌های پیامدها است که می‌تواند با معیارهای مناسب برای جمعیت، مقایسه شود و سطح مشخصی از آسیب را مطالعه کند.

ب.۶.۲۷ نقاط قوت و محدودیت‌ها

منحنی‌های FN روش مناسب برای بیان اطلاعات ریسک است که می‌تواند توسط مدیران و طراحان سیستم به منظور کمک به تصمیم‌گیری در مورد ریسک و سطوح ایمنی استفاده شود. این روش مفید برای بیان اطلاعات فراوانی و پیامد در روشی دسترس‌پذیر است.

منحنی‌های FN برای مقایسه ریسک شرایط مشابه که داده کافی برای آن‌ها دردسترس است مناسب است. آنها نباید برای مقایسه ریسک‌های با انواع مختلف و مشخصات گوناگون در شرایط که داده‌های کمّی و کیفی متفاوت وجود دارد، استفاده شوند.

محدودیت منحنی‌های FN این است که چیزی در رابطه با طیف اثرات یا نتایج سانحه بیشتر از آن که افراد تحت تاثیر قرار گرفته‌اند نمی‌گوید، و هیچ روشی برای شناسایی راه‌های متفاوت که سطح آسیب ممکن است روی دهد، وجود ندارد. آن‌ها نوعی پیامد مشخص را تصویر می‌کنند که معمولاً آسیب به افراد است. منحنی‌های FN روش ارزیابی ریسک نیستند، امّا روشی برای نشان دادن نتایج ارزیابی ریسک هستند.

آن‌ها روش مناسب برای نشان دادن نتایج ارزیابی ریسک هستند امّا نیاز به آماده‌سازی توسط تحلیل‌گر ماهر دارند و اغلب برای غیرمتخصصین تفسیر و ارزشیابی آن دشوار است.

ب.۲۸ شاخص بررسی ریسک[۴۷]

ب.۱.۲۸ بررسی اجمالی

شاخص ریسک اندازه‌گیری نیمه‌کمّی از ریسک است که با استفاده از رویکرد امتیازدهی که از مقیاس ترتیبی استفاده کرده است، تخمینی استخراج می‌کند. شاخص ریسک می‌تواند برای دادن نرخ به مجموعه‌ای از ریسک با معیارهای مشابه استفاده شود، بنابراین آن‌ها می‌توانند مقایسه شوند. امتیازها برای هر مولفه ریسک به کار می‌رود، برای مثال ویژگی‌های آلاینده‌ها (منابع)، طیف مسیرهای ممکن در معرض قرارگیری و تاثیر بر گیرنده‌ها[۴۸] از این موارد است.

شاخص ریسک اساساً رویکرد کیفی برای رتبه‌بندی و مقایسه ریسک‌ها است. با این که از اعداد استفاده می‌شود، انجام با مهارت آن ساده است. در بسیاری از موارد که مدل اصلی یا سیستم شناخته شده نیست یا توانایی نشان دادن ندارد، بهتر است از رویکرد کیفی استفاده شود.

ب.۲.۲۸ کارکرد

[47] Risk indices
[48] Receptor

اگر سیستم به خوبی درک شده باشد، شاخص می‌تواند برای طبقه‌بندی ریسک‌های مختلف موجود همراه فعالیت استفاده شود. آن‌ها اجازه می‌دهند طیفی از عوامل موثّر بر سطح ریسک در یک امتیاز عددی برای سطح ریسک یکپارچه شوند.

معمولاً شاخص برای بسیاری از انواع مختلف ریسک به عنوان ابزار هدف‌گذاری برای طبقه‌بندی ریسک مطابق سطح ریسک، استفاده می‌شود. این ممکن است برای تعیین ریسک‌هایی که نیاز به ارزیابی عمیق‌تر و حتی ارزیابی کمّی دارند، استفاده شود.

ب.۳.۲۸ ورودی‌ها

ورودی‌ها از تحلیل سیستم، یا تشریح گسترده‌ای از چارچوب‌ها استخراج شده‌اند. این نیاز به درک خوب از کلیه منابع ریسک، مسیرهای ممکن و چگونگی تاثیرگذاری دارد. ابزارهایی مانند تحلیل درخت خطا، تحلیل درخت پیشامد و تحلیل تصمیم‌گیری کلی می‌تواند برای حمایت از توسعه شاخص ریسک استفاده شود.

از آنجا که انتخاب مقیاس ترتیبی تا حدی اختیاری است، داده‌های کافی برای اعتبار شاخص لازم است.

ب.۴.۲۸ فرآیند

گام اول درک و تشریح سیستم است. هنگامی که سیستم تعریف شد، امتیازها برای هر جز به گونه‌ای تعریف می‌شود که بتوانند ترکیب شوند و شاخص مرکب را ایجاد کنند. برای مثال در زمینه محیط، منابع، مسیرها و گیرنده‌ها باید امتیازدهی شوند، که در بعضی موارد ممکن است برای هر منبع، مسیرها و گیرنده‌های متفاوتی حضور داشته باشد. امتیازات مستقل مطابق طرح ترکیب می‌شوند تا واقعیت‌های فیزیکی سیستم را محاسبه کند. این که امتیازات برای هر قسمت از سیستم (منابع، مسیرها و دریافت‌کنندگان) از داخل سازگار باشد و روابط صحیح آن‌ها حفظ شود، با اهمیت است. امتیازات ممکن است برای مولفه‌های ریسک (برای مثال احتمالات، در معرض قرارگیری، پیامدها) یا عوامل افزایش‌دهنده ریسک داده شود.

مطابق این مدل سطح بالا، امتیازات ممکن است جمع، تفریق، ضرب و/یا تقسیم شود. اثرات تجمعی می‌تواند با اضافه شدن امتیازها وارد محاسبات شود (برای مثال، اضافه کردن امتیازات برای مسیرهای متفاوت). برای اجرا در مقیاس‌های ترتیبی، فرمول‌های ریاضی کاملاً معتبر نیست. بنابراین، سیستم امتیازات ایجاد می‌شود و مدل باید توسط اجرای آن در سیستم شناخته شده، معتبر باشد. ایجاد شاخص رویکردی تکراری است و چندین سیستم متفاوت برای ترکیب امتیازها آزموده می‌شود قبل از این که تحلیل‌گر در مورد اعتبار مطمئن شود.

عدم‌اطمینان می‌تواند با تحلیل حساسیت بررسی شود و امتیازات متفاوت را برای پیدا کردن حساس‌ترین پارامتر موجود تخصیص دهد.

ب.۵.۲۸ خروجی‌ها

خروجی مجموعه‌ای از اعداد (شاخص‌های مرکب) مرتبط با منبع خاصی است که می‌تواند با شاخص‌های توسعه برای دیگر منابع در سیستم مشابه یا سیستمی که در روشی مشابه مدل شده است، مقایسه شود.

ب.۶.۲۸ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت شامل موارد زیر است:

- شاخص می‌تواند ابزار مناسبی برای رتبه‌بندی ریسک‌های متفاوت فراهم کند؛

- آن‌ها اجازه می‌دهند که عوامل متعددی که بر سطح ریسک اثر دارند در امتیاز عددی برای سطح ریسک گنجانده شود.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- اگر فرآیند (مدل) و نتایج آن خوب ارزش‌دهی نشده باشد، نتایج ممکن است بی‌معنی باشد. واقعیت این است که نتیجه مقدار عددی برای ریسک است و ممکن است تفسیر غلط و سوء استفاده شود، برای مثال در تحلیل هزینه/سود بعد از آن؛
- در بسیاری از شرایط که شاخص استفاده می‌شود، مدل اصلی برای تعریف مقیاس‌های مستقل برای عوامل ریسک که خطی، لگاریتمی یا دیگر مدل‌ها باشد وجود ندارد و هیچ مدلی برای چگونگی ترکیب عوامل وجود ندارد. در این شرایط، نرخ‌دهی ذاتاً غیرقابل‌اطمینان است و اعتبار در مقابل داده‌های واقعی بسیار با اهمیت است.

ب.۲۹ ماتریس پیامد/احتمال[۴۹]

ب.۱.۲۹ بررسی اجمالی

ماتریس پیامد/احتمال ابزاری برای ترکیب نرخ کیفی یا نیمه‌کمّی پیامد و احتمال برای تولید سطح ریسک یا نرخ ریسک است.

حالت ماتریس و تعاریف استفاده شده وابسته به چارچوبی است که در آن استفاده می‌شود و طراحی مناسب برای استفاده برای آن شرایط بسیار با اهمیت است.

ب.۲.۲۹ کارکرد

ماتریس پیامد/احتمال بر اساس سطح ریسک برای رتبه‌بندی ریسک‌ها، منابع ریسک یا درمان‌های ریسک ، استفاده می‌شود. معمولاً زمانی که ریسک‌های زیادی شناخته شده است به عنوان ابزار غربالگری استفاده می‌شود، برای مثال این که کدام ریسک به تحلیل بیشتر یا دقیق‌تر نیاز دارد، کدام ریسک نیاز است که ابتدا درمان شود یا کدام باید به سطح بالای مدیریت ارجاع داده شود. همچنین ممکن است برای انتخاب ریسک‌هایی که در این زمان نیاز به درنظرگرفتن بیشتر نیست، استفاده شود. این نوع ماتریس همچنین بصورت گسترده برای تعیین قابل‌پذیرش یا غیرقابل‌پذیرش بودن (۴.۵ را ببینید) ریسک مطابق منطقه‌ای که در ماتریس قرار می‌گیرد، استفاده می‌شود.

ماتریس پیامد احتمال همچنین ممکن است استفاده شود تا به ارتباط درک معمول برای سطح کیفی ریسک از سطح سازمان کمک کند. روش تعیین سطوح ریسک و قوانین تصمیم‌گیری اختصاص‌یافته به آن‌ها باید با ریسک‌پذیری سازمان سنجیده شود.

یک حالت از ماتریس پیامد/احتمال برای تحلیل بحرانیت در FMECA یا تعیین اولویت‌های موجود در HAZZOP استفاده می‌شود. همچنین ممکن است در شرایطی که داده‌های ناکافی برای تحلیل دقیق موجود باشد یا زمان و تلاش برای تحلیل کمّی ممکن نباشد، استفاده شود.

ب.۳.۲۹ ورودی‌ها

مقیاس‌های مشخص برای پیامدها و احتمالات و ماتریس ترکیب کننده این دو، ورودی‌های فرآیند هستند.

[49] Consequence/probability matrix

مقیاس (مقیاس‌های) پیامد باید طیفی از انواع پیامدها را پوشش دهد و درنظربگیرد (برای مثال: خسارت مالی؛ ایمنی؛ محیط زیست یا دیگر پارامترها، وابسته به چارچوب) و باید از بیشترین پیامد ممکن تا کمترین پیامد را در نظر داشته باشد. قسمتی از مثال در شکل ب.۱۳ نشان داده شده است.

مقیاس ممکن است هر تعداد از نقاط را داشته باشد. مقیاس‌های ۳، ۴ یا ۵ نقطه‌ای بیشتر رایج هستند.

مقیاس احتمالات همچنین ممکن است هر تعداد از نقاط را داشته باشد. تعریف احتمالات باید به نحوی انتخاب شود که تا حد ممکن بدون‌ابهام باشد. اگر راهنماهای عددی برای تعریف احتمالات متفاوت استفاده شود، باید واحدها داده شوند. نیاز است محدوده طیف مقیاس احتمالات با مطالعه در دست مرتبط باشد، به‌یادداشته باشید که کمترین احتمال باید برای بیشترین پیامد تعریف‌شده قابل‌پذیرش باشد، بعبارت دیگر تمام فعالیت‌ها با بیشترین پیامد به عنوان غیرقابل‌تحمل تعریف می‌شود. قسمتی از مثال در شکل ب.۱۴ نشان داده شده است.

ماتریسی با پیامدها بر روی یک محور و احتمالات بر روی محور دیگر رسم می‌شود. شکل ب.۱۵ قسمتی از مثال ماتریس را نشان می‌دهد که مقیاس پیامدها ۶ نقطه‌ای و مقیاس احتمالات ۵ نقطه‌ای است.

سطوح ریسک اختصاص داده شده به هر خانه وابسته به تعاریف مقیاس‌های احتمال/پیامد است. وابسته به کاربرد، ماتریس ممکن است وزن بیشتری را به پیامدها (همانگونه که نشان داده شده) یا به احتمالات اختصاص دهد، یا ممکن است متقارن باشد. سطوح ریسک ممکن است به قوانین تصمیم‌گیری مرتبط باشد مانند توجه به سطح مدیریت یا مقیاس زمانی که برای پاسخ نیاز است.

مقیاس نرخ‌دهی و ماتریس ممکن است با مقیاس‌های کمّی بیان شود. برای مثال، در زمینه قابلیت‌اطمینان، مقیاس احتمال می‌تواند نشان‌دهنده نرخ خرابی و مقیاس پیامد هزینه خرابی به دلار باشد.

استفاده از این ابزار نیاز به افراد (که تیم ایده‌آل است) با تخصص‌های مرتبط و داده‌های دردسترس برای کمک به قضاوت پیامدها و احتمالات دارد.

ب.۴.۲۹ فرآیند

برای رتبه‌بندی ریسک، کاربر ابتدا تعریف پیامد را که بیشترین مناسبت را با شرایط دارد پیدا می‌کند، سپس احتمال رخداد این پیامدها را تعریف می‌کند. سپس سطح ریسک از ماتریس تعیین می‌شود.

بسیاری از پیشامدهای ریسک ممکن است طیفی از نتایج را با احتمالات مختلف داشته باشند. معمولاً، مسائل جزئی بیشتر از فجایع رایج هستند. بنابراین این انتخاب وجود دارد که معمول‌ترین نتایج را یا جدی‌ترین‌ها را یا ترکیب‌های دیگری را رتبه‌بندی کنیم. در بسیاری موارد، مناسب است که بر روی جدی‌ترین نتایج ممکن تمرکز کنیم و در این حالت که بزرگ‌ترین درمان وجود دارد و اغلب بزرگترین نگرانی هم وجود دارد. در بعضی موارد، ممکن است مناسب باشد که مسائل معمول و فجایع غیرمحتمل را بصورت جداگانه رتبه‌بندی کنیم. این که احتمال مرتبط با پیامد انتخاب شده استفاده شود و احتمال پیشامد بصورت کلی استفاده نشود، بسیار با اهمیت است.

سطح ریسک با ماتریس تعیین می‌شود و ممکن است مطابق قوانین تصمیم‌گیری، درمان ریسک صورت پذیرید یا نپذیرد.

ب.۵.۲۹ خروجی‌ها

خروجی، نرخ برای هر ریسک یا لیست رتبه‌بندی ریسک‌ها با سطوح اهمیت تعریف شده است.

Rating	Financial impact AU$ EBITDA	Investment Return AU$ NPV	Health and Safety	Environment and Community	Reputation	Legal and Compliance
6	$100m+ loss or gain	$300 + loss or gain	• Multiple fatalities, or • Significant irreversible effects to 10's of people	• Irreversible long term environmental harm. • Community outrage- potential large-scale class action.	• International press reporting over several days. • Total loss of shareholder support who act to dis-invest. • CEO departs and board is restructured.	• Major litigation or prosecution with damages of $50m+ plus significant costs. • Custodial sentence for company Executive • Prolonged closure of operations by authorities.
5	$10m - $99m loss or gain	$30m - $299m loss or gain	• Single fatality and/or • Severe irreversible disability to one or more persons	• Prolonged environmental impact. • High-profile community concerns raised – requiring significant remediation measures.	• National press reporting over several days. • Sustained impact on the reputation of shareholders. • Loss of shareholder support for gro • Pressu	• Major litigation costing $10m+ • Investigation by regulat body resulting in lor Interruption to
4	$1m – $9m loss or gain	$3m – $29m loss or gain	• Extensive injuries or Irrever	• Major spill		
3	$100k – $90 loss or gain					
2	$10 lo					
1	N					

شکل ب.۱۳ – قسمتی از مثال جدول معیارهای پیامدها

Rating	Criteria
Likely	- balance of probability will occur, or - could occur within "weeks to months"
Possible	- may occur shortly but a distin - could occur within "mo
Unlikely	- may occur but not - could occur in "
Rare	- occurrence re - exceptional' - only occ
Remote	- theor - fr

شکل ب.۱۴ – قسمتی از مثال ماتریس رتبه‌بندی ریسک

نرخ احتمال							
	E	IV	III	II	I	I	I
	D	IV	III	III	II	I	I
	C	V	IV	III	II	II	I
	B	V	IV	III	III	II	I
	A	V	V	IV	III	II	II
		1	2	3	4	5	6
		نرخ پیامد					

شکل ب.۱۵ – قسمتی از مثال ماتریس معیارهای احتمال

ب.۶.۲۹ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت شامل موارد زیر است:

- برای استفاده نسبتاً آسان است؛
- رتبه‌بندی سریع از ریسک با سطوح اهمیت متفاوت فراهم می‌کند.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- ماتریس باید مناسب شرایط طراحی شده باشد و ممکن است دشوار باشد که سیستم در سراسر طیفی از شرایط مرتبط سازمان استفاده شود؛
- تعریف مقیاس بدون ابهام دشوار است؛
- استفاده این روش خیلی ذهنی است و تمایلات مهم متفاوتی بین ارزیاب‌ها وجود دارد؛
- ریسک‌ها نمی‌توانند جمع شوند (برای مثال، یک نمی‌تواند به عنوان عدد مخصوص برای ریسک‌های کم باشد یا ریسکی که چندین بار شناسایی شده مساوی ریسک متوسط باشد)؛
- این که سطح ریسک را برای دسته‌های متفاوت پیامدها ترکیب یا مقایسه کنیم، دشوار است.

نتایج وابسته به سطح جزئیات تحلیل است، برای مثال تحلیل با جزئیات دقیق‌تر، با تعداد بیشتری سناریو، که هر کدام احتمال کمتری دارند. این ممکن است سطح ریسک واقعی را کم درنظر بگیرد. روش این است که در شرح ریسک، سناریوها گروه‌بندی شوند و در آغاز مطالعه تعریف و ثابت شوند.

ب.۳۰ تحلیل هزینه/سود (CBA)[50]

ب.۱.۳۰ بررسی اجمالی

تحلیل هزینه/سود می‌تواند برای ارزشیابی ریسک در شرایطی که مجموع هزینه‌های مورد انتظار در مقابل مجموع سودهای مورد انتظار باشد بهترین یا پرسودترین گزینه انتخاب شود. این بخش ضمنی بسیاری از سیستم‌های ارزشیابی ریسک است. این می‌تواند کیفی یا کمّی و یا شامل ترکیبی از اجزا کیفی یا کمّی باشد. CBA کمّی، ارزش پولی کلیه هزینه‌ها و کلیه سودها را برای کلیه ذینفعان که در حیطه مطالعه هستند جمع می‌کند و در

[50] Cost/benefit analysis (CBA)

دوره‌های زمانی که هزینه‌ها یا سودها جمع می‌شود تنظیم می‌شود. ارزش خالص فعلی (NPV)[51] که تولید می‌شود ورودی برای تصمیم‌گیری در مورد ریسک است. NPV مثبت مطابق با فعالیتی است که در حالت نرمال آن فعالیت باید رخ دهد. با این حال برای بعضی از ریسک‌های منفی، مخصوصاً وقتی شامل ریسک‌های زندگی انسان یا آسیب به محیط زیست باشد اصل ALARP ممکن است اجرا شود. این روش ریسک را به سه ناحیه تقسیم می‌کند: بالاترین سطح که ریسک‌های منفی غیرقابل‌تحمل هستند و بجز در شرایط غیرمعمول نباید انجام شوند؛ پایین‌ترین سطح که ریسک‌ها ناچیز هستند و فقط نیاز است که پایش شوند تا تضمین شود که کم باقی می‌مانند؛ و باند وسط که ریسک پایین‌ترین مقدار ممکن (ALARP) را ایجاد می‌کنند. برای ریسک‌های پایین‌تر از این ناحیه، ممکن است تحلیل هزینه/سود دقیق اجرا شود امّا وقتی ریسک‌ها نزدیک به ناحیه غیرقابل‌تحمل می‌شوند، از اصل ALARP انتظار می‌رود که درمان رخ خواهد داد مگر آنکه هزینه‌های درمان به شدت با سود بدست آمده نامناسب باشد.

ب.۲.۳۰ کارکرد

تحلیل سود/هزینه می‌تواند برای تصمیم‌گیری بین گزینه‌های شامل ریسک مورد استفاده قرار بگیرد.

برای مثال:

- ورودی برای تصمیم در مورد این‌که ریسک باید درمان شود،
- برای تفاوت‌های بین و تصمیم در مورد بهترین حالت درمان ریسک،
- برای تصمیم بین دوره‌های مختلف فعالیت.

ب.۳.۳۰ ورودی‌ها

ورودی‌ها شامل اطلاعات هزینه و سود مرتبط با ذینفعان و عدم‌اطمینان‌های این هزینه‌ها و سودها است. هزینه‌ها و سودها محسوس و غیرمحسوس باید در نظر گرفته شود. هزینه‌ها شامل منابع مصرف‌شده و نتایج منفی، سودها شامل نتایج مثبت است. از نتایج منفی پرهیز می‌شود و منابع حفظ می‌شوند.

ب.۴.۳۰ فرآیند

ذینفعان که ممکن است کسانی باشند که هزینه می‌کنند یا سود دریافت می‌کنند، شناسایی می‌شوند. در تحلیل هزینه/سود کامل، کلیه ذینفعان حضور دارند.

کلیه سودها و هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم کلیه ذینفعان مرتبط برای گزینه‌ها باید درنظرگرفته و شناسایی شوند. سودهای مستقیم آن‌هایی هستند که مستقیماً از انجام فعالیت ناشی می‌شود، در حالی که منافع غیرمستقیم یا فرعی آن‌هایی هستند که تصادفی هستند امّا ممکن است در تصمیم‌گیری با اهمیت باشند. مثال سود غیرمستقیم شامل بهبود اعتبار، رضایت کارکنان و "آرامش ذهنی" است.(اغلب این‌ها در تصمیم‌گیری سنجیده می‌شود).

هزینه‌های مستقیم آن‌هایی هستند که مستقیماً از انجام فعالیت ناشی می‌شوند. هزینه‌های غیرمستقیم، هزینه‌های اضافه، فرعی و هدر رفته هستند. ازدست‌دادن ابزار، انحراف در مدیریت زمان یا دور شدن سرمایه‌ها از دیگر روش‌های سرمایه‌گذاری بالقوه از این موارد هستند. هنگامی تحلیل هزینه/سود برای تصمیم در مورد درمان ریسک اجرا می‌شود، هزینه و سودها برای درمان ریسک و همراه با ریسک باید در نظر گرفته شود.

[51] Net present value (NPV)

در تحلیل هزینه/سود کمّی، هنگامی که کلیه هزینه‌ها و سودهای محسوس و غیرمحسوس شناسایی شد، ارزش پولی به کلیه هزینه‌ها و سودها اختصاص داده می‌شود (شامل هزینه‌ها و سودهای غیرمحسوس). چندین روش استاندارد برای این وجود دارد که شامل رویکرد "تمایل به پرداخت"[۵۲] و استفاده از عناصر عملیاتی است. اگر هزینه در دوره زمانی مشخص کوتاهی (برای مثال یک سال) شد و سودها در زمان طولانی بعد از آن اتفاق افتاد، که اغلب اتفاق می‌افتد، بصورت معمول نیاز است که سودها به "پول روز" تبدیل شود و مقایسه‌ای معتبر حاصل شود. کلیه هزینه‌ها و سودها به ارزش روز بیان می‌شوند. کلیه هزینه‌ها و سودها با ارزش روز برای کلیه ذینفعان ترکیب می‌شود و ارزش خالص فعلی (NPV) را تولید می‌کند. NPV مثبت نشان از این دارد که فعالیت سودآور است. نسبت سود به هزینه در ب۵.۳۰ استفاده شده است.

اگر عدم‌اطمینان درباره سطح هزینه‌ها و سودها وجود داشته باشد، هر کدام می‌تواند مطابق با احتمالات خودشان سنجیده شوند.

در تحلیل هزینه/سود کیفی هیچ تلاشی برای پیدا کردن ارزش پولی برای پیدا کردن هزینه‌ها و سودهای غیرمحسوس صورت نمی‌گیرد، و ترجیحاً خلاصه‌ای از از هزینه‌ها و سودها، روابط و ارتباط بین هزینه‌ها و سودهای متفاوت که کیفی هستند، فراهم می‌شود.

تکنیک مرتبط تحلیل هزینه–اثربخشی است. این روش فرض می‌کند که سود یا نتیجه مشخصی مطلوب است، و چندین روش جایگزین برای حاصل شدن آن وجود دارد. تحلیل فقط به هزینه‌ها و ارزان‌ترین روش حاصل شدن سودها توجه دارد.

ب.۵.۳۰ خروجی‌ها

خروجی تحلیل هزینه/سود اطلاعات مرتبط با هزینه و سود گزینه‌ها و فعالیت‌های مختلف است. این ممکن است بصورت کمّی و ارزش خالص فعلی (NPV) نرخ بازگشت داخلی (IRR)[۵۳] یا نسبت ارزش فعلی سودها به ارزش فعلی هزینه‌ها بیان شود. بصورت کیفی نتایج معمولاً جدولی است که هزینه‌ها و سودها را برای انواع هزینه و سود مقایسه می‌کند، و بیشترین توجه را به ارتباط‌ها دارد.

ب.۶.۳۰ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت تحلیل هزینه/سود شامل موارد زیر است:

- اجازه می‌دهد هزینه‌ها و سودها با یک واحد متریک (پول) مقایسه شود؛
- شفافیت را برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند؛
- نیاز به جمع‌آوری اطلاعات دقیق برای برای کلیه جنبه‌های ممکن تصمیم‌گیری دارد. می‌تواند در نبود اطلاعات و همچنین ارتباط با دانش ارزشمند باشد.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- CBA کمّی می‌تواند محصول اعداد چشمگیر متفاوت، وابسته به روش استفاده شده برای تخصیص ارزش اقتصادی به سودهای غیراقتصادی، باشد؛
- در بعضی از کاربردها این بسیار دشوار است که نرخ ارزش برای هزینه‌ها و سودهای آینده مشخص کنیم؛

[52] Willingness to pay
[53] Internal rate of return (IRR)

- تخمین مزایای متعلق به جمعیت بزرگ دشوار است، مخصوصاً آن‌هایی که مربوط به کالاهایی هستند که در بازار تبادل نمی‌شوند؛
- در عمل تخفیف به معنای آن است که سود بدست‌آمده در آینده دراز مدت وابسته به نرخ تخفیف انتخاب شده تاثیر کمی بر تصمیم‌گیری دارد. روش برای درنظرگیری ریسک‌های موثّر بر تولیدات آینده، نامناسب خواهد بود مگر آنکه نرخ تخفیف خیلی پایین یا صفر تعیین شود.

ب.۳۱ تحلیل تصمیم گیری چند معیاره (MCDA)[54]

ب.۱.۳۱ بررسی اجمالی

استفاده از طیفی از معیارها برای ارزیابی عینی و شفاف برای ارزیابی شایستگی مجموعه‌ای از گزینه‌ها هدف است. هدف کلی ایجاد اولویت بین گزینه‌های دردسترس است. تحلیل شامل ایجاد ماتریسی از گزینه‌ها و معیارهایی که رتبه‌بندی و جمع می‌شوند تا امتیاز کلی برای هر گزینه تولید کنند.

ب.۲.۳۱ کارکرد

MCDA می‌تواند استفاده شود برای

- مقایسه گزینه‌های متعدد در تحلیل اولیه به منظور تعیین اولویت‌ها و گزینه بالقوه و گزینه‌های نامناسب،
- مقایسه گزینه‌ها هنگامی که متعدد باشند و گاهی معیارهای متناقص وجود داشته باشد،
- رسیدن به اجماع نهایی بر روی یک تصمیم که ذینفعان متفاوت دارای اهداف یا ارزش‌های متضاد هستند.

ب.۳.۳۱ ورودی‌ها

مجموعه‌ای از گزینه‌ها برای تحلیل. معیارهایی، بر پایه اهداف که می‌تواند بصورت مساوی بین همه‌ی گزینه‌ها استفاده شود تا بین آن‌ها تفاوت ایجاد کند.

ب.۴.۳۱ فرآیند

بصورت کلی گروهی از ذینفعان آگاه فرآیند زیر را انجام می‌دهد:

أ. تعریف هدف (اهداف)؛

ب. تعیین ویژگی‌های (معیارها یا اندازه‌گیری عملکرد) که مرتبط با هر هدف است؛

ت. ساختاری که در آن سلسله مراتب ویژگی‌ها مشخص است؛

ث. ایجاد گزینه‌هایی برای ارزشیابی معیارها؛

ج. تعیین اهمیت معیارها و اختصاص وزن مربوط به آن‌ها؛

ح. ارزشیابی جایگزین‌ها با توجه به معیارها. این ممکن است با ماتریس امتیازات نشان داده شود.

خ. ترکیب امتیازات تک–ویژگی‌های[55] متعدد در یک امتیاز تکی با ویژگی‌های متعدد؛

د. ارزشیابی نتایج.

روش‌های متفاوتی برای دادن وزن به هر معیار وجود دارد که می‌تواند مشخص شود و روش‌های متفاوتی که امتیازات معیارها را برای هر گزینه در یک امتیاز چند مشخصه‌ای جمع می‌کند. برای مثال، امتیازات ممکن است

[54] Multi-criteria decision analysis (MCDA)
[55] Single-attribute score

از جمع وزن‌ها یا ضرب وزن‌ها یا استفاده از فرآیند اولویت تحلیلی حاصل شود، تکنیک مشخص برای وزن‌ها و امتیازات بر پایه مقایسه فاصله جمع‌ها است. کلیه این روش‌ها فرض می‌کنند که اولویت هر یک از معیارها وابسته به ارزش دیگر معیارها نیست. جایی که این فرض نامعتبر باشد، مدل‌های دیگری باید استفاده شود.

از آنجا که امتیازات ذهنی هستند، تحلیل حساسیت برای تعیین گستره این که کدام وزن‌ها و امتیازات براولویت‌بندی کلی بین گزینه‌ها تاثیرگذار هستند، مفید است.

ب.۵.۳۱ خروجی‌ها

رتبه‌بندی به منظور بیان گزینه‌ها از بهترین تا بدترین اولویت انجام می‌شود. اگر فرآیند ماتریس را ایجاد کند که محورهای ماتریس وزن معیارها و امتیازات معیارها برای هر گزینه باشد، گزینه‌هایی که معیار وزن‌دهی بالا دارند می‌توانند حذف شوند.

ب.۶.۳۱ نقاط قوت و محدودیت‌ها

نقاط قوت شامل موارد زیر است:

- ساختاری ساده برای تصمیم‌گیری کارآمد و ارائه فرضیات و نتایج فراهم کرده است؛
- می‌تواند تصمیم‌های پیچیده برای مسائل بگیرد، جایی که تمایلی به تحلیل هزینه/سود نیست، بیشتر قابل کنترل است.
- می‌تواند کمک منطقی به‌درنظرگیری مسائلی کند که نیاز است موازنه‌هایی در نظر گرفته شود؛
- می‌تواند کمک به حصول توافق‌هایی کند که ذینفعان اهداف و یا حتی معیارهای متفاوتی دارند.

محدودیت‌ها شامل موارد زیر است:

- می‌تواند تحت تاثیر تعصب و انتخاب‌های ضعیف برای معیارهای انتخاب قرار بگیرد؛
- بیشتر مسائل MCDA راه‌حل قطعی و منحصربه‌فرد ندارند؛
- جمع‌آوری الگوریتم‌ها که وزن معیارها رامحاسبه می‌کند یا جمع‌آوری دیدگاه‌های مختلف، می‌تواند ریشه اصلی تصمیم‌گیری‌های درست را پنهان کند.

کتاب شناسی

1. IEC 61511, Functional safety – Safety instrumented systems for the process industry sector
2. IEC 61508 (all parts), Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems
3. IEC 61882, Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide
4. ISO 22000, Food safety management systems – Requirements for any organization in the food chain
5. ISO/IEC Guide 51, Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards
6. IEC 60300-3-11, Dependability management – Part 3-11: Application guide – Reliability centred maintenance
7. IEC 61649, Weibull analysis
8. IEC 61078, Analysis techniques for dependability – Reliability block diagram and Boolean methods
9. IEC 61165, Application of Markov techniques
10. ISO/IEC 15909 (all parts), Software and systems engineering – High-level Petri nets
11. IEC 62551, Analysis techniques for dependability – Petri net techniques