INSO
14560
1st. Edition

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۴۵۶۰
چاپ اول

مدیریت ریسک – تکنیک‌های ارزیابی ریسک

Risk management – Risk assessment techniques

ICS:03.100.10

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است .

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان ، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود .پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود .بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور ، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود .

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«مدیریت ریسک – تکنیک‌های ارزیابی ریسک»

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
ذره، مهدی (کارشناسی ارشد مهندسی برق)	کارشناس استاندارد
دبیر:	
بستان‌دوست راد، احسان (کارشناسی مهندسی صنایع)	رئیس هیات مدیره شرکت مهندسی سیستم‌های مدیریت قابلیت اعتماد توازن
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
استاد حسین، روح ا.. (کارشناسی مهندسی مکانیک)	کارشناس شرکت مدیران خودرو
اسمی خان، علی (کارشناس مهندسی مکانیک)	کارشناس
افراز، شهاب (کارشناسی مهندسی کامپیوتر)	مدیر تدوین شرکت مهندسی سیستم‌های مدیریت قابلیت اعتماد توازن
حکیمی زاده، صدف (کارشناسی ارشد مترجمی زبان)	کارشناس شرکت مهندسی سیستم‌های مدیریت قابلیت اعتماد توازن
کوماسی، حامد (کارشناسی مهندسی معدن)	کارشناس کنترل کیفی معدن تهران شن
نصرتی، ایمان (کارشناس مهندسی مکانیک)	مدیر فنی پایکار بنیان پنل

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
آشنایی با مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران	ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد	ج
پیش گفتار	و
مقدمه	ز
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۱
۳ اصطلاحات و تعاریف	۱
۴ مفاهیم ارزیابی ریسک	۲
۴-۱ مقصود و مزایا	۲
۴-۲ ارزیابی ریسک و چارچوب مدیریت ریسک	۲
۴-۳ ارزیابی ریسک و فرآیند مدیریت ریسک	۳
۴-۳-۱ کلیات	۳
۴-۳-۲ تبادل اطلاعات و مشاوره	۳
۴-۳-۳ برقراری فضا	۴
۴-۳-۴ ارزیابی ریسک	۶
۴-۳-۵ برخورد با ریسک	۶
۴-۳-۶ پایش و بازنگری	۷
۵ فرآیند ارزیابی ریسک	۷
۵-۱ مرور کلی	۷
۵-۲ شناسایی ریسک	۸
۵-۳ تحلیل ریسک	۹
۵-۳-۱ کلیات	۹
۵-۳-۲ ارزیابی کنترل ها	۱۰
۵-۳-۳ تحلیل عواقب	۱۱
۵-۳-۴ تحلیل راستنمایی و برآورد احتمال	۱۲
۵-۳-۵ تحلیل اولیه	۱۲
۵-۳-۶ عدم قطعیتها و حساسیت ها	۱۳
۵-۴ سنجش ریسک	۱۳
۵-۵ مستندسازی	۱۴
۵-۶ پایش و بازنگری ارزیابی ریسک	۱۵

ادامه‌ی فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۵-۷ به کارگیری ارزیابی ریسک در طول فازهای چرخه عمر	۱۶
۶ انتخاب تکنیکهای ارزیابی ریسک	۱۶
۶-۱ کلیات	۱۶
۶-۲ انتخاب تکنیکها	۱۷
۶-۳ در دسترس بودن منابع	۱۸
۶-۴ ماهیت و میزان عدم قطعیت	۱۸
۶-۵ پیچیدگی	۱۹
۶-۶ به کار گیری ارزیابی ریسک در طول فازهای چرخه عمر	۱۹
۶-۷ انواع تکنیکهای ارزیابی ریسک	۲۰
پیوست الف (اطلاعاتی) مقایسه تکنیکهای ارزیابی ریسک	۲۱
پیوست ب (اطلاعاتی) تکنیکهای ارزیابی ریسک	۲۹
کتابنامه	۱۱۵

پیش گفتار

استاندارد «مدیریت ریسک – تکنیک‌های ارزیابی ریسک» که پیش نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط «شرکت مهندسی سیستم‌های قابلیت اعتماد توازن» تهیه و تدوین شده و در یکصدو بیست و سومین اجلاس کمیته‌ی ملی استاندارد مدیریت کیفیت مورخ ۱۳۹۱/۰۳/۰۷ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود .

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیهٔ این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

IEC/ISO 31010: 2009, Risk management – Risk assessment techniques

مقدمه

سازمان‌ها در انواع و اندازه‌های مختلف با گستره‌ای از ریسک‌ها مواجه هستند که ممکن است بر دستیابی آن‌ها به اهدافشان تاثیر بگذارند.

این اهداف می‌توانند با گستره‌ای از فعالیت‌های سازمان مرتبط باشند، از ابتکارهای راهبردی گرفته تا عملیات، فرآیندها و پروژه‌های سازمان می‌توانند به صورت پیامدهای اجتماعی، محیطی، تکنولوژیکی، ایمنی و امنیتی، اقدامات تجاری، مالی و اقتصادی و همچنین تاثیرات اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و اعتباری منعکس شوند.

تمام فعالیت‌های یک سازمان در ریسک‌هایی دخیل هستند که بایستی مدیریت شوند. فرآیند مدیریت ریسک از طریق به حساب آوردن عدم قطعیت و احتمال رخدادها و اوضاع و احوال آینده (خواسته و ناخواسته) و تاثیرات آن‌ها بر اهداف مورد توافق، به تصمیم گیری کمک می‌کند.

مدیریت ریسک شامل به کار گیری روش‌های منطقی و سیستماتیک برای موارد زیر است:

- تبادل اطلاعات و مشاوره در کل این فرآیند؛
- ایجاد فضایی برای شناسایی، تحلیل، سنجش و برخورد با ریسک مربوط به هر فعالیت، فرآیند، وظیفه یا محصول؛
- پایش و بازنگری ریسک‌ها؛
- گزارش دهی و ثبت مناسب نتایج.

ارزیابی ریسک قسمتی از مدیریت ریسک است که فرآیندی ساختاریافته را فراهم می‌آورد تا چگونگی تحت تاثیر قرار گرفتن اهداف را شناسایی کند و ریسک را پیش از تصمیم گیری در این مورد که آیا به برخورد بیشتر نیاز است، از جنبه‌ی عواقب و احتمال آن تحلیل می‌کند.

ارزیابی ریسک تلاش می‌کند به پرسشهای اساسی زیر پاسخ گوید:

- با شناسایی ریسک چه اتفاقی ممکن است رخ دهد و چرا؟
- عواقب آن اتفاق کدامند؟
- احتمال وقوع آن‌ها در آینده چقدر است؟
- آیا عواملی وجود دارند که عواقب ریسک را تخفیف دهند یا احتمال ریسک را کاهش دهند؟
- آیا سطح ریسک قابل تحمل یا قابل قبول است و آیا نیاز به برخورد بیشتر است؟

مقصود از این استاندارد منعکس ساختن رویه‌های خوب فعلی در انتخاب و به کار گیری تکنیک‌های ارزیابی ریسک است و به مفاهیم جدید یا در حال گسترشی اشاره ندارد که به سطحی رضایت بخش از توافق حرفه-ای دست یافته اند.

این استاندارد ماهیتی کلی دارد، تا بتواند برای تمامی صنایع و انواع سیستم‌ها راهنمایی ارائه کند. ممکن است استانداردهای خاص تری در این صنایع (بخشی) موجود باشند که متدولوژی‌ها و سطوح ارزیابی ارجح برای کاربردهای مشخص را ایجاد کنند. اگر این استانداردها هماهنگ با این استاندارد باشند، در این صورت عموماً استانداردهای خاص کافی خواهند بود.

مدیریت ریسک – تکنیک‌های ارزیابی ریسک

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد پشتیبانی از استاندارد ISO 31000[1] است و راهنمایی در مورد انتخاب و به کارگیری تکنیک‌هایی سیستماتیک برای ارزیابی ریسک، ارائه می‌دهد.

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

این استاندارد کاربرد گستره‌ای از این تکنیک‌ها معرفی می‌شود و اشاره خاصی به دیگر استانداردهای ملی و بین المللی صورت می‌گیرد که در آن‌ها مفهوم و به کارگیری تکنیک‌ها با تفصیل بیشتری توصیف شده‌اند.

مقصود از این استاندارد صدور گواهی، استفاده نظارتی یا قراردادی نیست.

این استاندارد معیارهای خاصی را برای شناسایی نیاز به تحلیل ریسک ارائه نمی‌دهد و همچنین نوع روش تحلیل ریسک مورد الزام برای کاربردی خاص را مشخص نمی‌کند.

این استاندارد به تمام تکنیک‌ها اشاره نمی‌کند و حذف یک تکنیک از این استاندارد به معنای نامعتبر بودن آن نیست. این حقیقت که یک روش در اوضاع و احوالی خاص قابل کاربرد است بدان معنا نیست که روش مذکور ضرورتاً بایستی به کار رود.

یادآوری – این استاندارد به طور خاص به ایمنی نمی‌پردازد. این استاندارد یک استاندارد عام مدیریت ریسک است و هر اشاره‌ای به ایمنی ماهیتی کاملاً اطلاعاتی دارد. راهنمایی در مورد به کار گیری جنبه‌های ایمنی، در استاندارد ISO/IEC Guide 51 ارائه شده است.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزیی از این استاندارد ملی ایران محسوب می شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO/IEC Guide 73[2], Risk management – Vocabulary – Guidelines for use in standards

2-2 ISO 31000, Risk management – Principles and guidelines

۳ اصطلاحات و تعاریف

۱- استاندارد ملی ایران به شماره‌ی ۱۳۲۴۵: ۱۳۸۹ با استفاده از منبع ISO 31000:2009 تدوین شده است.
۲- استاندارد ملی ایران به شماره‌ی ۱۳۲۴۶: ۱۳۸۹ با استفاده از منبع ISO Guide 73:2009 تدوین شده است.

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف استاندارد ISO/IEC Guide 73 به کار می‌روند.

۴ مفاهیم ارزیابی ریسک

۴-۱ مقصود و مزایا

مقصود از ارزیابی ریسک ارائه اطلاعات بر پایه شواهد و تحلیل برای اتخاذ تصمیمات آگاهانه در مورد نحوه برخورد با ریسک‌هایی خاص و نحوه انتخاب بین گزینه‌ها است.

برخی از مزایای اصلی اجرای ارزیابی ریسک شامل موارد زیر است:

- درک ریسک و پیامد بالقوه آن بر اهداف؛
- ارائه اطلاعات به تصمیم گیرندگان؛
- کمک به درک ریسک‌ها به منظور کمک در انتخاب گزینه‌های برخورد با ریسک؛
- شناسایی عوامل مهم شرکت کننده در ریسک‌ها و پیوندهای ضعیف در سیستم‌ها و سازمان‌ها؛
- مقایسه ریسک‌ها در سیستم‌ها، تکنولوژی‌ها یا رویکردهای مختلف؛
- تبادل اطلاعات مربوط به ریسک‌ها و عدم قطعیت‌ها؛
- کمک در ایجاد اولویت‌ها؛
- کمک در جهت جلوگیری از رویداد بر اساس تحقیق و تفحص پس از رویداد؛
- انتخاب اشکال مختلف برخورد با ریسک؛
- برآورده ساختن الزامات نظارتی؛
- ارائه اطلاعاتی که به سنجش این امر کمک می‌کند که آیا ریسک بایستی در هنگام مقایسه با معیارهای از قبل تعریف شده‌ای، پذیرفته شود؛
- ارزیابی ریسک‌ها برای وارهایی در پایان عمر.

۴-۲ ارزیابی ریسک و چارچوب مدیریت ریسک

فرض این استاندارد بر این است که ارزیابی ریسک درون چارچوب و فرآیند مدیریت ریسکِ توصیف شده در استاندارد ISO 31000 اجرا می‌شود.

چارچوب مدیریت ریسک خط مشی‌ها، روش‌های اجرایی و توافقات سازمانی را ارائه می‌دهد که در کل سازمان و در تمام سطوح مدیریت ریسک تعبیه می‌شوند.

سازمان به عنوان قسمتی از این چارچوب بایستی خط مشی یا راهبردی داشته باشد تا تصمیم بگیرد که ریسک‌ها در چه زمانی و چگونه بایستی ارزیابی شوند.

به ویژه افرادی که ارزیابی‌های ریسک را انجام می‌دهند، بایستی در خصوص موارد زیر مطمئن باشند:

- فضای سازمانی و اهداف آن؛
- میزان و نوع ریسک‌هایی که قابل تحمل هستند و نحوه برخورد با ریسک‌های غیر قابل قبول؛
- نحوه انسجام ارزیابی ریسک با فرآیندهای سازمانی؛
- روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده برای ارزیابی ریسک و کمک آن‌ها به فرآیند مدیریت ریسک؛
- پاسخگویی، مسئولیت و اختیار برای اجرای ارزیابی ریسک؛
- منابع موجود برای انجام ارزیابی ریسک؛
- نحوه گزارش دهی و بازنگری ارزیابی ریسک.

۴-۳ ارزیابی ریسک و فرآیند مدیریت ریسک

۴-۳-۱ کلیات

ارزیابی ریسک دربردارنده عناصر هسته‌ای فرآیند مدیریت ریسک است که در ISO 31000 تعریف شده اند و شامل عناصر زیر هستند:

- تبادل اطلاعات و مشاوره؛
- برقراری فضا؛
- ارزیابی ریسک (شامل شناسایی ریسک، تحلیل ریسک و سنجش ریسک)؛
- برخورد با ریسک؛
- پایش و بازنگری.

ارزیابی ریسک فعالیتی مستقل نیست و بایستی کاملا با دیگر اجزاء در فرآیند مدیریت ریسک وحدت داشته باشد.

۴-۳-۲ تبادل اطلاعات و مشاوره

یک ارزیابی ریسک موفقت آمیز، به تبادل اطلاعات و مشاوره اثربخش با علاقمندان وابسته است.

دخالت دادن علاقمندان[1] در فرآیند مدیریت ریسک در موارد زیر کمک می‌کند:

- تکوین یک طرح تبادل اطلاعات؛
- تعریف فضا به طور مناسب؛

1 - Stakeholders

- حصول اطمینان از این که منافع علاقمندان درک شده و در نظر گرفته می‌شوند؛
- گرد هم آوردن حوزه‌های مختلف تخصصی برای شناسایی و تحلیل ریسک؛
- حصول اطمینان از این که نظرات مختلف در سنجش ریسک‌ها به طور مناسب در نظر گرفته می-شوند؛
- حصول اطمینان از این که ریسک‌ها به نحو مناسب شناسایی می‌شوند؛
- تامین پشتیبانی و حمایت برای طرح برخورد.

علاقمندان بایستی به وساطت بین فرآیند ارزیابی ریسک با دیگر رشته‌های مدیریتی از جمله مدیریت تغییر، مدیریت پروژه و برنامه و همچنین مدیریت مالی کمک کنند.

۴-۳-۳ برقراری فضا

برقراری فضا، پارامترهای اساسی را برای مدیریت ریسک تعریف می‌کند و دامنه و معیارها را برای بقیه فرآیند تنظیم می‌نماید. برقراری فضا شامل در نظر گرفتن پارامترهای داخلی و خارجی مرتبط با کل سازمان و همچنین پس زمینه ریسک‌های خاصی است که مورد ارزیابی قرار گرفته اند.

در برقراری فضا، اهداف ارزیابی ریسک، معیارهای ریسک و برنامه ارزیابی ریسک تعیین شده و مورد توافق قرار می‌گیرند.

برای یک ارزیابی ریسک خاص، برقراری فضا بایستی شامل تعریف فضای مدیریت ریسک خارجی و داخلی و طبقه بندی معیارهای ریسک شود:

الف) برقراری فضای خارجی شامل آشنا شدن با محیطی است که سازمان و سیستم در آن کار می‌کند، از جمله:

- عوامل محیط فرهنگی، سیاسی، قانونی، نظارتی، مالی، اقتصادی و رقابتی، چه بین المللی باشند و چه ملی، منطقه‌ای یا محلی؛
- محرک‌ها و روندهای کلیدی که پیامدهایی بر اهداف سازمان دارند؛
- ادراک و ارزش‌های علاقمندان خارجی.

ب) برقراری فضای داخلی شامل درک موارد زیر است:

- توانمندی‌های سازمان از نظر منابع و دانش؛
- جریان‌های اطلاعات و فرآیندهای تصمیم گیری؛
- علاقمندان داخلی؛
- اهداف و راهبردهایی که برای دستیابی به اهداف دهیل هستند؛

- ادراک، ارزش‌ها وفرهنگ؛
- خط مشی‌ها و فرآیندها؛
- استانداردها و مدل‌های مرجعی که سازمان اتخاذ نموده است؛
- ساختارها (مثلاً حکمرانی، نقش‌ها و پاسخگویی‌ها).

پ) برقراری فضای فرآیند مدیریت ریسک شامل موارد زیر است:

- تعریف پاسخگویی‌ها و مسئولیت‌ها؛
- تعریف گستره‌ی فعالیت‌های مدیریت ریسک که قرار است انجام شوند، از جمله شمول‌ها و حذف-های خاص؛
- تعریف گستره‌ی پروژه، فرآیند، وظیفه یا فعالیت از نظر زمان و مکان؛
- تعریف روابط بین پروژه یا فعالیتی خاص و دیگر پروژه‌ها و فعالیت‌های سازمان؛
- تعریف متدولوژی‌های ارزیابی ریسک؛
- تعریف معیارهای ریسک؛
- تعریف نحوه سنجش عملکرد مدیریت ریسک؛
- شناسایی و مشخص کردن تصمیمات و اقداماتی که باید صورت گیرند؛
- شناسایی مطالعات مورد نیاز برای تعیین حوزه یا چارچوب، وسعت آن‌ها، اهدافشان و همچنین منابع مورد نیاز برای چنین مطالعاتی.

ت) تعریف معیارهای ریسک شامل تصمیم گیری درباره‌ی موارد زیر است:

- ماهیت و انواع عواقبی که قرار است گنجانده شوند و نحوه اندازه گیری آن‌ها؛
- نحوه بیان احتمالات؛
- نحوه تعیین سطح ریسک؛
- معیارهایی که مطابق با آن‌ها در خصوص زمان برخورد با ریسک تصمیم‌گیری می‌شود؛
- معیارهایی برای تصمیم گیری در این مورد که یک ریسک در چه صورت قابل قبول و/یا قابل تحمل است؛
- آیا ترکیب ریسک‌ها در نظر گرفته می‌شود و در این صورت چگونه.

معیارها می‌توانند بر اساس منابعی چون موارد زیر باشند:

- اهداف فرآیند مورد توافق؛
- معیارهای شناسایی شده توسط مشخصات؛
- منابع کلی داده‌ها؛
- معیارهای عموما پذیرفته شده در صنعت مانند سطوح انسجام ایمنی[1]؛
- تمایل و رغبت سازمان به ریسک‌پذیری؛
- الزامات قانونی و دیگر الزامات برای تجهیزات یا کاربردهای خاص.

۴-۳-۴ ارزیابی ریسک

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

ریسک‌ها را می‌توان در سطح سازمانی، در سطح شعبه ای، برای پروژه‌ها، فعالیت‌های منفرد یا ریسک‌های خاص ارزیابی نمود. ابزارها و تکنیک‌های مختلفی ممکن است در فضاهای مختلف، مناسب باشند.

ارزیابی ریسک درکی از ریسک‌ها، دلایل آن‌ها، عواقب و احتمالات آن‌ها را فراهم می‌سازد. این امر یک ورودی به تصمیم‌گیری در مورد مسائل زیر است:

- آیا فعالیتی بایستی انجام گیرد؛
- نحوه به حداکثر رساندن فرصت‌ها؛
- آیا نیاز است که با ریسک‌ها برخورد شود؛
- انتخاب بین گزینه‌هایی با ریسک‌های مختلف؛
- تعیین اولویت گزینه‌های برخورد با ریسک؛
- انتخاب مناسب ترین راهبردهای برخورد با ریسک که ریسک‌های نامطلوب را به سطحی قابل تحمل می‌رساند.

۴-۳-۵ برخورد با ریسک

با به اتمام رساندن ارزیابی ریسک، برخورد با ریسک طراحی می‌شود. برخورد با ریسک شامل انتخاب و موافقت با یک یا چند گزینه مرتبط برای تغییر احتمال رویداد، تاثیر ریسک‌ها، یا هر دو و پیاده سازی این گزینه‌ها، می‌باشد.

1- Safety integrity levels

پس از آن فرآیند گردشی بازارزیابی سطح جدید ریسک، با نگاهی به تعیین قابلیت تحمل آن طبق معیارهای از پیش تنظیم شده، انجام می‌گیرد. این امر به منظور تصمیم گیری در مورد این که آیا برخورد بیشتری مورد نیاز است یا خیر، صورت می‌پذیرد.

۶-۳-۴ پایش و بازنگری

ریسک‌ها و کنترل‌ها، به عنوان قسمتی از فرآیند مدیریت ریسک، بایستی بر مبنایی منظم مورد پایش و بازنگری قرار گیرند تا موارد زیر را تصدیق نمایند:

- مفروضات در مورد ریسک‌ها معتبر می‌مانند؛
- مفروضات که ارزیابی ریسک بر اساس آن‌ها صورت می‌گیرد، از جمله فضای خارجی و داخلی، معتبر باقی می‌مانند؛
- نتایج مورد انتظار کسب می‌شوند؛
- نتایج ارزیابی ریسک مطابق با تجربه واقعی هستند؛
- تکنیک‌های ارزیابی ریسک به طور مناسب به کار می‌روند؛
- برخورد با ریسک‌ها اثربخش هستند.

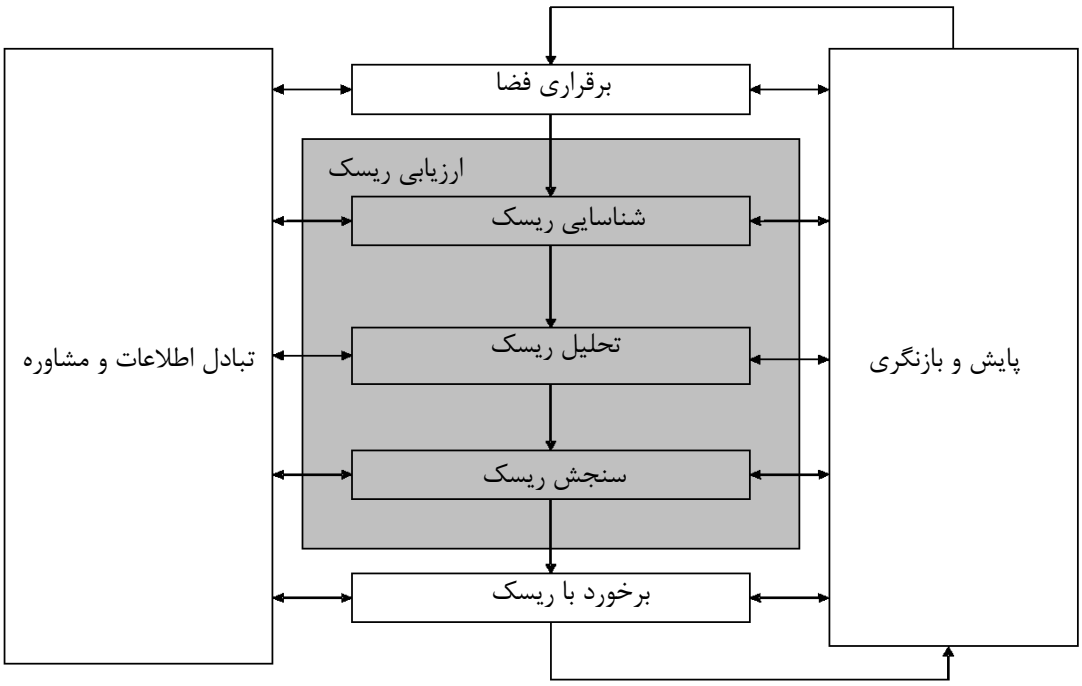
تعهد و پاسخگویی برای پایش و اجرای بازنگری‌ها بایستی برقرار شوند.

۵ فرآیند ارزیابی ریسک

۵-۱ مرور کلی

ارزیابی ریسک دریافت تصمیم‌گیران و طرف‌های مسئول از ریسک‌ها را بهبود می‌بخشد که می‌تواند بر دستیابی به اهداف و شایستگی و اثربخشی کنترل‌هایی که از قبل در کارند، تاثیر بگذارد. این امر مبنایی برای تصمیم گیری در مورد مناسب ترین رویکردی که باید، به منظور برخورد با ریسک‌ها استفاده شود را فراهم می‌سازد. خروجی ارزیابی ریسک ورودی به فرآیندهای تصمیم گیری سازمان است.

ارزیابی ریسک فرآیند کلی شناسایی، تحلیل و سنجش ریسک است (به شکل ۱ مراجعه کنید). نحوه به کار گیری این فرآیند به فضای فرآیند مدیریت ریسک و همچنین روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده برای انجام ارزیابی ریسک بستگی دارد.



شکل ۱ – سهم ارزیابی ریسک در فرآیند مدیریت ریسک

ارزیابی ریسک ممکن است مستلزم رویکردی چندرشته‌ای باشد چرا که ریسک‌ها ممکن است گستره وسیعی از دلایل و عواقب را پوشش دهند.

۵-۲ شناسایی ریسک

شناسایی ریسک فرآیند یافتن، به رسمیت شناختن و ثبت ریسک‌ها است.

مقصود از شناسایی ریسک، شناسایی این است که چه اتفاقی ممکن است رخ دهد و یا چه موقعیت‌هایی ممکن است وجود داشته باشند که می‌توانند بر دستیابی به اهداف سیستم یا سازمان تاثیر بگذارند. هنگامی که ریسکی شناسایی می‌شود، سازمان بایستی تمامی کنترل‌های موجود را مانند خصایص طراحی، افراد، فرآیندها و سیستم‌ها شناسایی کند.

فرآیند شناسایی ریسک شامل شناسایی دلایل و منابع ریسک (خطر در خصوص آسیب فیزیکی)، رخدادها، موقعیت‌ها یا اوضاع و احوالی است که می‌توانند پیامدی کلی بر اهداف و ماهیت این پیامد داشته باشند.

روش‌های شناسایی ریسک می‌توانند شامل موارد زیر شوند:

- روش‌های مبتنی بر شواهد، از جمله فهرست‌های وارسی و بازنگری داده‌های تاریخچه‌ای؛
- رویکردهای گروهی سیستماتیک که در آن‌ها گروهی از متخصصین فرآیندی سیستماتیک را دنبال می‌کنند تا ریسک‌ها را از طریق مجموعه‌ای ساختاریافته از اعلان‌ها یا پرسش‌ها شناسایی کنند؛

- تکنیک‌های استدلال استقرایی مانند HAZOP[1].

تکنیک‌های پشتیبانی مختلفی می‌توانند برای بهبود درستی و تکامل در شناسایی ریسک به کار روند، مانند توفان ذهنی و متدولوژی دلفی.

صرف نظر از تکنیک‌هایی که واقعا به کار می‌روند، به رسمیت شناختن عوامل انسانی و سازمانی در هنگام شناسایی ریسک دارای اهمیت است. از این رو انحراف از عوامل انسانی و سازمانی مورد از حد انتظار بایستی در فرآیند شناسایی ریسک و همچنین رخدادهای "سخت افزار" یا "نرم افزار" گنجانده شود.

۵-۳ تحلیل ریسک

۵-۳-۱ کلیات

تحلیل ریسک راجع به تکوین درکی از ریسک است. تحلیل ریسک ورودی ارزیابی ریسک و تصمیماتی است که در مورد نیاز برخورد با ریسک اتخاذ می‌شوند. تحلیل ریسک همچنین ورودی تصمیماتی در مورد مناسب ترین راهبردها و روش‌های برخورد، می‌باشد.

تحلیل ریسک شامل تعیین عواقب و احتمال آن‌ها برای رخدادهای ریسک شناسایی شده، با به حساب آوردن حضور (یا عدم حضور) و اثربخشی هر کنترل موجود است. سپس عواقب و احتمالات آن‌ها ترکیب می‌شوند تا سطح ریسک را تعیین کنند.

تحلیل ریسک شامل در نظر گرفتن دلایل و منابع ریسک، عواقب آن‌ها و احتمال این عواقب است. عواملی که بر عواقب و احتمال تاثیر می‌گذارند بایستی شناسایی شوند. یک رخداد می‌تواند عواقب و اهادف متعدد داشته باشد. کنترل‌های ریسک موجود و اثربخشی آن‌ها بایستی به حساب آید. روش‌های مختلف برای این تحلیل‌ها در پیوست ب توصیف شده اند. ممکن است برای کاربردهای پیچیده، بیش از یک تکنیک مورد نیاز باشد.

تحلیل ریسک معمولاً شامل برآوردی از گستره عواقب بالقوه‌ای است که ممکن است از یک رخداد، موقعیت یا اوضاع و احوال و احتمالات مربوطه آن‌ها برخیزد تا سطح ریسک را اندازه گیری کند. با این حال در برخی موارد، مانند هنگامی که عواقب احتمالا قابل توجه نیستند، یا انتظار می‌رود که احتمال بسیار پایین باشد، یک برآورد پارامتر واحد ممکن است برای تصمیم گیری کافی باشد.

در برخی اوضاع و احوال، عواقب می‌تواند در نتیجه گستره‌ای از رخدادها یا وضعیت‌های مختلف یا در حالتی که رخداد خاصی شناسایی نشده است، به وقوع بپیوندد. در این مورد تمرکز ارزیابی ریسک بر تحلیل اهمیت و آسیب پذیری اجزاء سیستم با دیدگاهی برای تعریف برخوردهایی است که مربوط به سطوح حفاظت یا راهبردهای بازیابی هستند.

---

1 - HAZards and OPerability

روش‌های مورد استفاده در تحلیل ریسک‌ها می‌توانند کیفی، نیمه کمّی یا کمّی باشند. میزان تفصیل مورد نیاز بسته به کاربرد خاص، در دسترس بودن داده‌های قابل اطمینان و نیازهای تصمیم گیری در سازمان است. برخی روش‌ها و میزان تفصیل تحلیل می‌تواند توسط مقررات تجویز شود.

ارزیابی کیفی عواقب، احتمال و سطح ریسک را با سطوح اهمیت مانند "بالا"، "متوسط" و "پایین" تعریف می‌کند، می‌توان عواقب و احتمال را ترکیب کرد و سطح حاصل ریسک را در مقابل معیارهای کیفی سنجید.

روش‌های نیمه کیفی از مقیاس‌های درجه بندی عددی برای عواقب و احتمال استفاده می‌کنند و آنها را ترکیب می‌کنند تا با استفاده از فرمول، سطحی از ریسک را ایجاد کنند. مقیاس‌ها ممکن است خطی یا لگاریتمی باشند و یا رابطه دیگری داشته باشند. فرمول‌های به کار رفته نیز ممکن است متفاوت باشند.

تحلیل کمّی برای عواقب و احتمالات آن‌ها مقادیری عملی برآورد می‌کند و مقادیری از سطح ریسک را برحسب واحدهای خاص ایجاد می‌کند که هنگام تکوین فضا تعریف می‌شوند. تحلیل کمّی کامل ممکن است به دلیل اطلاعات ناکافی در مورد سیستم یا فعالیتی که تحلیل می‌شود، کمبود داده‌ها، تاثیر عوامل انسانی و غیره، یا به این دلیل که تلاش تحلیل کمّی مورد ضمانت یا الزام نیست، همیشه ممکن یا مطلوب نباشد. در چنین اوضاع و احوالی رده بندی نیمه کمّی مقایسه‌ای یا کیفی ریسک‌ها توسط متخصصینی که در میدان مربوطه اطلاعات دارند، هنوز می‌تواند اثربخش باشد.

در مواردی که تحلیل کیفی است، بایستی توضیحی روشن از تمام عبارات به کار رفته موجود باشد و بایستی مبنایی برای تمام معیارها ثبت شود.

حتی هنگامی که کمّی کردن به طور کامل انجام گرفته است، نیاز است که برآورد بودن تمام سطوح ریسک محاسبه شده، به رسمیت شناخته شود. بایستی دقت شود تا اطمینان حاصل شود که به آن‌ها سطحی از درستی و دقت که ناسازگار با درستی داده‌ها و روش‌های به کار رفته است، نسبت داده نشود.

سطوح ریسک‌ها بایستی با مناسب ترین اصطلاحات برای آن نوع ریسک و به شکلی که به سنجش ریسک کمک می‌کند، بیان شوند. در برخی موارد بزرگی ریسک می‌تواند به عنوان توزیع احتمال در گستره‌ای از عواقب بیان شود.

۵-۳-۲ ارزیابی کنترل ها

سطح ریسک به کفایت و اثربخشی کنترل‌های موجود وابسته است. پرسش‌هایی که مورد توجه قرار می-گیرند، عبارتند از:

- کنترل‌های موجود برای یک ریسک خاص کدامند؟
- آیا این کنترل‌ها قادر به برخورد کافی با ریسک هستند تا در سطح قابل تحملی کنترل شود؟
- در عمل آیا کنترل‌ها به نحو مورد نظر عمل می‌کنند و آیا می‌توانند هنگام نیاز اثربخش واقع شوند؟

این پرسش‌ها تنها در صورتی می‌توانند با اطمینان پاسخ داده شوند که فرآیندهای مستندسازی و تضمین مناسبی در کار باشند.

سطح اثربخشی برای کنترلی خاص یا مجموعه‌ای از کنترل‌های مرتبط می‌تواند به صورت کیفی، نیمه کمّی یا کمّی بیان شود. در بیشتر موارد، سطح بالایی از درستی تضمین نمی‌شود. با این حال ممکن است بیان و ثبت میزان اثربخشی کنترل ریسک ارزشمند باشد تا در این مورد که تلاش در بهبود کنترل یا ارائه برخورد با ریسکی متفاوت به بهترین نحو صرف شده است، مورد کارشناسی قرار گیرد.

۵-۳-۳ تحلیل عواقب

تحلیل عواقب ماهیت و نوع پیامدی را تعیین می‌کند که با فرض وقوع موقعیت رخداد یا عواقبی خاص، ممکن است اتفاق بیفتد. یک رخداد ممکن است گستره‌ای از پیامدها با اندازه‌های مختلف داشته باشد و بر گستره‌ای از اهداف مختلف و علاقمندان مختلف تاثیر بگذارد. انواع عواقب مورد تحلیل و علاقمندان تحت تاثیر در زمان برقراری فضا تعیین خواهد شد.

تحلیل عواقب می‌تواند از توصیفی ساده از پیامدها تا مدلسازی کیفی تفصیلی یا تحلیل آسیب پذیری متفاوت باشد.

پیامدها ممکن است دارای عواقبی پایین اما احتمال بالا یا عواقبی بالا و احتمالی پایین یا پیامدی متوسط باشند. بهتر است که روی ریسک‌هایی با پیامدهای بالقوه بسیار بزرگ تمرکز شود، چرا که اغلب بیشترین اهمیت را برای مدیران دارند. در موارد دیگر ممکن است مهم باشد که ریسک‌های با عواقب بالا و پایین به طور مجزا تحلیل شوند. مثلاً یک مشکل مکرر امّا با پیامد پایین (یا مزمن) ممکن است تاثیرات تجمعی یا دراز مدت بزرگی داشته باشد. به علاوه اقدامات برخورد برای پرداختن به این دو نوع متمایز ریسک اغلب نسبتاً متفاوتند، بنابراین تحلیل آن‌ها به طور مجزا مفید خواهد بود.

تحلیل عواقب می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- در نظر گرفتن کنترل‌های موجود برای برخورد با عواقب، به علاوه تمام عوامل کمک کننده مرتبط که روی عواقب تاثیر می‌گذارند؛
- ایجاد ارتباط بین عواقب ریسک و اهداف اصلی؛
- در نظر گرفتن عواقب فوری و همچنین عواقبی که پس از گذشت زمان معینی پدید می‌آیند، اگر این امر سازگار با هدف و دامنه کاربرد ارزیابی باشد؛
- در نظر گرفتن عواقب ثانوی، از قبیل پیامدی که بر سیستم‌ها، فعالیت‌ها، تجهیزات یا سازمان‌های مربوطه اثر می‌گذارند.

۵-۳-۴ تحلیل راستنمایی و برآورد احتمال

سه رویکرد کلی اغلب برای برآورد احتمال به کار می‌روند؛ این رویکردها را می‌توان به صورت منفرد یا مشترک مورد استفاده قرار داد:

الف) استفاده از داده‌های تاریخچه‌ای مرتبط برای شناسایی رخدادها یا موقعیت‌هایی که در گذشته رخ داده اند و از این رو توانایی برون یابی احتمال وقوع آن‌ها درآینده. داده‌های مورد استفاده بایستی مرتبط با نوع سیستم، تسهیلات، سازمان یا فعالیت در نظر گرفته شده و همچنین مربوط به استانداردهای بهره برداری سازمان باشد. اگر در تاریخچه فراوانی وقوع بسیار پایین است، آن گاه هر برآورد احتمال غیرقطعی خواهد بود. این امر به ویژه در مورد وقوع صفر به کار می‌رود، که در آن نمی‌توان فرض نمود که رخداد، موقعیت یا اوضاع و احوال در آینده به وقوع نخواهند پیوست.

ب) استفاده از تکنیک‌های پیش بینی احتمال مانند تحلیل درخت خرابی و تحلیل درخت رخداد (به پیوست ب مراجعه کنید). هنگامی که داده‌های تاریخچه‌ای در دسترس نیستند یا ناکافی هستند، ضروری است که احتمال را با تحلیل سیستم، فعالیت، تجهیزات یا سازمان و حالات مربوطه شکست یا موفقیتش به دست آورد. سپس داده‌های عددی برای تجهیزات، انسان‌ها، سازمان‌ها و سیستم‌ها از تجربه بهره برداری یا منابع داده‌های منتشر شده ترکیب می‌شوند تا برآوردی از احتمال رخداد بالایی[1] تهیه کنند. هنگام استفاده از تکنیک‌های پیش بینی، مهم است اطمینان یابیم که سهمیه لازم در تحلیل برای احتمال مُدهای خرابی رایج در نظر گرفته شده، از جمله خرابی تصادفی تعدادی از قسمت‌ها یا اجزاء مختلف درون سیستم که ناشی از دلیلی یکسان هستند. تکنیک‌های شبیه سازی ممکن است برای ایجاد احتمال خرابی تجهیزات و خرابی ساختاری به دلیل کهنگی و دیگر فرآیندهای تنزل، از طریق محاسبه تاثیرات عدم قطعیت‌ها مورد الزام باشند.

پ) نظر تخصصی می‌تواند در فرآیندی سیستماتیک و ساختار یافته برای برآورد احتمال مورد استفاده قرار گیرد. قضاوت‌های تخصصی بایستی از تمام اطلاعات مرتبط موجود از جمله داده‌های تاریخچه ای، خاص سیستم، خاص سازمان، آزمایشی، طراحی و غیره استفاده کنند. روش‌های رسمی مختلفی برای به دست آوردن قضاوت تخصصی موجود هستند که در شکل دادن پرسش‌های مناسب کمک می‌کنند. روش‌های موجود شامل رویکرد دلفی، مقایسه‌های جفتی، رده‌بندی طبقه‌ای و قضاوت‌های احتمال مطلق می‌باشند.

۵-۳-۵ تحلیل مقدماتی

می‌توان ریسک‌ها را غربال کرد تا مهمترین ریسک‌ها شناسایی شده یا ریسک‌های کم اهمیت تر یا جزئی از تحلیل بیشتر حذف شوند. مقصود، حصول اطمینان از این است که منابع روی مهمترین ریسک‌ها متمرکز خواهند بود. بایستی دقت شود که ریسک‌های پایینی که به طور مکرر رخ می‌دهند و تاثیر تجمعی قابل توجهی دارند، حذف نشوند.

---

1 - Top event

غربال کردن بایستی بر اساس معیارهایی باشد که در فضا تعریف شده اند. تحلیل مقدماتی، یک یا چند مورد از راه کارهای زیر را تعیین می‌کند:

- تصمیم به برخورد با ریسک‌ها بدون ارزیابی بیشتر؛
- کنار گذاشتن ریسک‌های کم اهمیتی که برخورد را توجیه نمی‌کنند؛
- پیشروی ارزیابی ریسک با تفصیل بیشتر.

مفروضات و نتایج اولیه بایستی مستند شوند.

۵-۳-۶ عدم قطعیت‌ها و حساسیت ها

اغلب عدم قطعیت‌های قابل توجهی مربوط به تحلیل ریسک موجودند. درک عدم قطعیت‌ها برای تعبیر و تبادل اطلاعات اثر بخش نتایج تحلیل ریسک ضروری است. تحلیل عدم قطعیت‌های مربوط به داده‌ها، روش-ها و مدل‌های مورد استفاده برای شناسایی و تحلیل ریسک نقشی مهم در کاربرد آن‌ها ایفا می‌کند. تحلیل عدم قطعیت شامل تعیین تغییرپذیری در پارامترها و مفروضات مورد استفاده در تعریف نتایج است. حوزه‌ای که ارتباط نزدیکی با تحلیل عدم قطعیت دارد، تحلیل حساسیت است.

تحلیل حساسیت شامل تعیین اندازه و اهمیت بزرگی ریسک با تغییرات در هر یک از پارامترهای ورودی است. این تحلیل برای شناسایی داده‌هایی به کار می‌رود که باید درست باشند و همچنین داده‌هایی که حساسیت کمتری دارند و از این رو تاثیر کمتری بر درستی کلی خواهند داشت.

تکامل و درستی تحلیل ریسک بایستی تا حد ممکن به طور کامل بیان شود. منابع عدم قطعیت بایستی بر حسب اقتضا شناسایی شوند و بایستی به عدم قطعیت‌های داده‌ها و همچنین مدل/روش بپردازند. پارامترهایی که تحلیل به آن‌ها حساس است و هم‌چنین میزان حساسیت بایستی بیان شود.

۵-۴ سنجش ریسک

سنجش ریسک شامل مقایسه سطوح برآوردی ریسک با معیارهای ریسک که در زمان برقراری فضا تعریف شده‌اند، بوده و به منظور تعیین اهمیت سطح و نوع ریسک است.

سنجش ریسک از درک ریسک به دست آمده در طول تحلیل ریسک برای تصمیم گیری در مورد اقدامات آینده استفاده می‌کند. مسائل اخلاقی، قانونی، مالی و غیره، از جمله ادراکی ریسک نیز ورودی‌هایی به تصمیم هستند.

تصمیمات ممکن است شامل موارد زیر باشند:

- آیا ریسک نیازی به برخورد دارد؛
- اولویت‌ها برای برخورد؛
- آیا فعالیتی بایستی انجام شود؛

- کدام یک از مسیرهای مختلف بایستی دنبال شود.

ماهیت تصمیماتی که نیاز است اتخاذ شوند و معیارهایی که برای این تصمیمات مورد استفاده قرار می‌گیرند، هنگام برقراری فضا تعیین شده اند اما در این مرحله که اطلاعات بیشتری در مورد ریسک‌های خاص شناسایی شده در دست است، نیاز است با تفصیل بیشتری مورد بررسی قرار گیرند.

ساده ترین چارچوب برای تعریف معیارهای ریسک سطح واحدی است که ریسک‌هایی را که نیاز به برخورد دارند از بقیه جدا می‌کند. این چارچوب نتایج ساده و جالبی می‌دهد، اما عدم قطعیت‌های موجود را در برآورد ریسک‌ها و در تعریف مرز بین ریسک‌هایی که نیاز به برخورد دارند و ریسک‌هایی که نیاز به برخورد ندارند، منعکس نمی‌سازد.

تصمیم در مورد این که آیا با ریسکی برخورد شود یا خیر و نحوه برخورد با آن، ممکن است بسته به هزینه‌ها و منافع پذیرفتن ریسک و هزینه‌ها و منافع پیاده سازی کنترل‌های بهبود یافته باشد.

یک رویکرد رایج تقسیم ریسک‌ها به سه دسته است:

الف) دسته بالایی که در آن سطح ریسک غیر قابل تحمل محسوب می‌شود، حال فعالیت هر سودی در بر داشته باشد و برخورد با ریسک با هر هزینه‌ای ضروری است؛

ب) دسته وسطی (یا ناحیه خاکستری) که در آن هزینه‌ها و سودها به حساب می‌آیند و فرصت‌ها طبق عواقب بالقوه متعادل می‌شوند؛

پ) دسته پایینی که در آن سطح ریسک قابل صرف نظر کردن است و یا به قدری کوچک است که هیچ اقدام برخوردی مورد نیاز نیست.

سیستم معیارهای «در حدی پایین که به‌طور منطقی قابل اجرا باشد» یا ALARP[1] که در کاربردهای ایمنی مورد استفاده قرار می‌گیرد از این رویکرد پیروی می‌کند که در آن در دسته وسطی، یک میزان تعدیل برای ریسک‌های پایین موجود است و در آن هزینه‌ها و سودها می‌توانند مستقیما مقایسه شوند، در حالی که برای ریسک‌های بالا احتمال آسیب باید کسر شود، تا زمانی که هزینه کاهش بیشتر کاملا نامتناسب با سود ایمنی به دست آمده باشد.

۵-۵ مستندسازی

فرآیند ارزیابی ریسک بایستی همراه با نتایج ارزیابی مستندسازی شود. ریسک‌ها بایستی با اصطلاحات قابل فهم بیان شوند و واحدهایی که سطح ریسک در آن‌ها بیان می‌شوند بایستی روشن باشند.

میزان گزارش بسته به دامنه ارزیابی خواهد بود. به جز ارزیابی‌های بسیار ساده، مستندسازی می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

1- As Low As Reasonably Practicable

- اهداف و دامنه کاربرد؛
- توصیف قسمت‌های مرتبط سیستم و وظایف آن‌ها؛
- خلاصه‌ای از فضای خارجی و داخلی سازمان و نحوه ارتباط آن با موقعیت، سیستم یا اوضاع و احوال مورد ارزیابی؛
- معیارهای ریسک به کار رفته و توجیه آن‌ها؛
- محدودیت‌ها، مفروضات و توجیه فرض‌ها؛
- متدولوژی ارزیابی؛
- نتایج شناسایی ریسک؛
- داده‌ها، مفروضات و منابع و صحه گذاری آن‌ها؛
- نتایج تحلیل ریسک و سنجش آن‌ها؛
- تحلیل حساسیت و عدم قطعیت؛
- مفروضات حیاتی و عوامل دیگری که نیاز به پایش دارند؛
- بحث در مورد نتایج؛
- نتیجه گیری‌ها و توصیه‌ها؛
- مراجع.

در صورتی که ارزیابی ریسک از فرآیند مدیریت ریسک پیوسته‌ای پشتیبانی می‌کند، بایستی به صورتی اجرا و مستندسازی شود که بتواند در کل چرخه عمر سیستم، سازمان، تجهیزات یا فعالیت حفظ شود. ارزیابی بایستی با در دسترس قرار گرفتن اطلاعات مهم جدید و تغییر فضا، مطابق با نیازهای فرآیند مدیریت به روز شود.

۵-۶ پایش و بازنگری ارزیابی ریسک

فرآیند ارزیابی ریسک بر فضا و عوامل دیگری که انتظار می‌رود در طول زمان تغییر یابند و می‌توانند تغییر کنند یا ارزیابی ریسک را بی اعتبار کنند، تاکید می‌کند. این عوامل بایستی به طور مشخص برای پایش و بازنگری مداوم شناسایی شوند، تا ارزیابی ریسک بتواند در صورت نیاز به روز شود.

داده‌هایی که قرار است مورد پایش قرار گیرد تا ارزیابی ریسک را بهبود بخشد نیز بایستی شناسایی و جمع آوری شود.

اثربخشی کنترل‌ها نیز بایستی مورد پایش و مستندسازی قرار گیرند تا داده‌هایی برای استفاده در تحلیل ریسک فراهم سازند. بایستی مسئولیت و پاسخگویی‌هایی برای ایجاد و بازنگری شواهد و مستندسازی تعریف شوند.

۵-۷ به کارگیری ارزیابی ریسک در طول فازهای چرخه عمر

بسیاری از فعالیت‌ها، پروژه‌ها و محصولات را می‌توان برخوردار از چرخه عمری دانست که از مفهوم اولیه و تعریف آغاز می‌شوند و تا تحقق و اتمام نهایی ادامه می‌یابند و ممکن است شامل از کار اندازی و وارهایی سخت افزار باشد.

ارزیابی ریسک را می‌توان در تمام مراحل چرخه عمر به کار برد و معمولاً دفعات بسیاری با سطوح مختلفی از جزئیات به کار می‌رود تا به اتخاذ تصمیماتی که نیاز است در هر فاز اخذ شوند، کمک کند.

فازهای چرخه‌های عمر الزامات مختلفی دارند و نیازمند تکنیک‌های مختلفی هستند. مثلاً در طول فاز مفهوم و تعریف، هنگامی که فرصتی شناسایی می‌شود، ارزیابی ریسک می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد تا تصمیم گرفته شود که آیا پیشروی صورت گیرد یا خیر.

هنگامی که گزینه‌های متعددی موجودند، ارزیابی ریسک می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد تا مفاهیم مختلف مورد سنجش قرار گیرند تا به تصمیم گیری در این مورد کمک کنند که کدام یک بهترین تعادل را بین ریسک‌های مثبت و منفی فراهم می‌سازد.

در طول فاز طراحی و تکوین، ارزیابی ریسک به موارد زیر کمک می‌کند:

- حصول اطمینان از این که ریسک‌ها قابل تحمل هستند؛
- فرآیند بهبود[1] طراحی؛
- مطالعات صرفه اقتصادی؛
- شناسایی ریسک‌هایی که بر فازهای بعدی چرخه عمر اثر می‌گذارند.

با پیشروی فعالیت، ارزیابی ریسک را می‌توان برای ارائه اطلاعات به منظور کمک در تکوین روش‌های اجرایی برای وضعیت‌های عادی و اضطراری مورد استفاده قرار داد.

۶ انتخاب تکنیک‌های ارزیابی ریسک

۶-۱ کلیات

این بند توصیف می‌کند که تکنیک‌های ارزیابی ریسک را چگونه می‌توان انتخاب کرد. پیوست‌ها گستره‌ای از ابزارها و تکنیک‌ها را فهرست کرده و سپس توضیح می‌دهند که می‌توانند برای اجرای ارزیابی ریسک یا

1- Refinement

کمک به فرآیند ارزیابی ریسک مورد استفاده قرار گیرند. گاهی ممکن است به کارگیری بیش از یک روش ارزیابی ضروری باشد.

۶-۲ انتخاب تکنیک‌ها

ارزیابی ریسک ممکن است در درجات مختلفی از عمق و تفصیل و با استفاده از یک یا چند روش از ساده گرفته تا پیچیده، انجام گیرد. شکل ارزیابی و خروجی آن بایستی سازگار با معیارهای ریسک باشد که به عنوان قسمتی از ایجاد اوضاع و احوال تکوین شده است. پیوست الف رابطه مفهومی بین دسته‌های گسترده تکنیک‌های ارزیابی ریسک و عوامل موجود در یک موقعیت ریسک مفروض را شرح می‌دهد و مثال‌هایی تشریحی در مورد نحوه انتخاب تکنیک‌های مناسب ارزیابی ریسک برای موقعیتی خاص توسط سازمان ارائه می‌دهد.

به طور کلی تکنیک‌های مناسب بایستی دارای ویژگی‌های زیر باشند:

- برای موقعیت یا سازمان مورد بررسی توجیه پذیر و مناسب باشد؛
- نتایج را به شکلی ارائه دهند که فهم ماهیت ریسک و نحوه برخورد با آن را ارتقا دهد؛
- به نحوی قابل ردیابی، قابل تکرار و قابل تصدیق، بتوان از آن‌ها استفاده کرد.

دلایل انتخاب تکنیک‌ها، با توجه به مرتبط و مناسب بودن بایستی ارائه شود. در یکپارچه نمودن نتایج مطالعات مختلف، تکنیک‌های به کار رفته و خروجی بایستی قابل مقایسه باشند.

هنگامی که تصمیم به اجرای ارزیابی ریسک گرفته شد و دامنه کاربرد تعریف شد، تکنیک‌ها بایستی بر اساس عواملی قابل کاربرد از جمله موارد زیر انتخاب شوند:

- اهداف مطالعه. اهداف ارزیابی ریسک تاثیری مستقیم بر تکنیک‌های مورد استفاده دارند. مثلاً در صورتی که مطالعه‌ای مقایسه‌ای بین گزینه‌های مختلف انجام می‌گیرد، ممکن است استفاده از مدل-های عواقب با جزئیات کمتر برای قسمت‌هایی از سیستم که تحت تاثیر این تغییر نیستند، قابل قبول باشد؛
- نیازهای تصمیم گیرندگان. در برخی موارد سطح بالایی از جزئیات برای اتخاذ تصمیمی خوب مورد نیاز است. در موارد دیگر درکی کلی تر کافی است؛
- نوع و گستره ریسک‌هایی که تحلیل می‌شوند؛
- بزرگی بالقوه عواقب. تصمیم درمورد عمق ارزیابی ریسک بایستی ادراک اولیه از عواقب را منعکس سازد (گرچه ممکن است هنگامی که سنجش مقدماتی به اتمام رسید، لازم باشد این تصمیم تعدیل شود)؛
- میزان تخصص، منابع انسانی و دیگر منابع مورد نیاز. روشی ساده که به خوبی انجام می‌گیرد، تا جایی که دامنه ارزیابی را برآورده می‌سازد، نتایجی بهتر از یک روش اجرایی پیچیده که بد اجرا می-

شود، دربردارد. معمولاً تلاشی که صرف ارزیابی می‌شود بایستی سازگار با سطح بالقوه ریسک مورد تحلیل باشد؛

- در دسترس بودن اطلاعات و داده‌ها. برخی تکنیک‌ها مستلزم اطلاعات و داده‌هایی بیش از بقیه تکنیک‌ها هستند؛
- نیاز به تعدیل/به روز کردن ارزیابی ریسک. ممکن است نیاز باشد ارزیابی در آینده تعدیل/به روز شود و برخی تکنیک‌ها در این زمینه بیش از بقیه قابل اصلاح هستند؛
- تمام الزامات نظارتی و قراردادی.

عوامل مختلفی بر انتخاب رویکرد به ارزیابی ریسک اثر می‌گذارند، از قبیل در دسترس بودن منابع، ماهیت و میزان عدم قطعیت در داده‌ها و اطلاعات موجود و پیچیدگی کاربرد (به جدول الف-۲ مراجعه کنید).

۶-۳ در دسترس بودن منابع

منابع و توانمندی‌هایی که ممکن است بر انتخاب تکنیک‌های ارزیابی ریسک اثر بگذارند، عبارتند از:

- مهارت‌ها، تجربه، ظرفیت و توانمندی گروه ارزیابی ریسک؛
- محدودیت‌های زمانی و دیگر منابع درون سازمان؛
- بودجه موجود در صورت نیاز به منابع خارجی.

۶-۴ ماهیت و میزان عدم قطعیت

ماهیت و میزان عدم قطعیت مستلزم درکی از کیفیت، کمیت و انسجام اطلاعات موجود در مورد ریسک مورد بررسی است. این امر شامل میزان در دسترس بودن اطلاعات کافی در مورد ریسک، منابع و دلایلش و عواقب آن برای دستیابی به اهداف می‌شود. عدم قطعیت می‌تواند ناشی از کیفیت پایین داده‌ها یا کمبود داده‌های ضروری و قابل اطمینان باشد. برای شرح دادن، ممکن است روش‌های جمع آوری داده‌ها تغییر کنند، نحوه استفاده سازمان‌ها از چنین روش‌هایی ممکن است تغییر کند یا این که سازمان ممکن است روش جمع آوری اثربخشی را برای جمع آوری داده‌ها در مورد ریسک شناسایی شده به کار نبندد.

عدم قطعیت همچنین می‌تواند در فضای خارجی و داخلی سازمان ذاتی باشد. داده‌های موجود همیشه مبنایی قابل اطمینان برای پیش بینی آینده فراهم نمی‌سازند. برای انواع منحصر به فرد ریسک، داده‌های تاریخچه‌ای ممکن است موجود نباشند یا ممکن است تعبیرهای مختلفی از داده‌های موجود توسط علاقمندان مختلف موجود باشد. افرادی که ارزیابی ریسک را انجام می‌دهند، نیاز است نوع و ماهیت عدم قطعیت را درک کنند و مفاهیم قابلیت اطمینان نتایج ارزیابی ریسک را درک کنند. این موارد همیشه بایستی به تصمیم گیرندگان منتقل شوند.

۶-۵ پیچیدگی

ریسک‌ها می‌توانند به خودی خود پیچیده باشند، مثلاً در سیستم‌های پیچیده که نیاز است ریسک هایشان در سیستم ارزیابی شوند نباید با هر جزء به طور مجزا برخورد شود و نتیجتاً بر هم کنش‌ها نادیده گرفته شوند. در موارد دیگر برخورد با تنها یک ریسک می‌تواند در جای دیگری معنی داشته باشد و می‌تواند بر فعالیت‌های دیگر اثر بگذارد. پیامدها و وابستگی‌های ریسک باید درک شوند تا اطمینان حاصل شود که در مدیریت یک ریسک، موقعیتی غیر قابل تحمل در جای دیگری ایجاد نمی‌شود. درک پیچیدگی یک ریسک واحد یا مجموعه‌ای از ریسک‌های یک سازمان برای انتخاب روش یا تکنیک‌های مناسب برای ارزیابی ریسک مهم است.

۶-۶ به کار گیری ارزیابی ریسک در طول فازهای چرخه عمر

بسیاری از فعالیت‌ها، پروژه‌ها و محصولات را می‌توان برخوردار از چرخه عمری از مفهوم اولیه و تعریف گرفته تا به رسمیت شناختن و اتمام نهایی دانست که ممکن است شامل از کار اندازی و وارهایی سخت افزار شود.

ارزیابی ریسک را می‌توان در تمام مراحل چرخه عمر به کار برد و معمولاً دفعات بسیاری با سطوح مختلفی از تفصیل به کار می‌رود تا به تصمیماتی کمک کند که نیاز است در هر فاز گرفته شوند.

فازهای چرخه‌های عمر نیازهای مختلفی دارند و مستلزم تکنیک‌های مختلفی هستند. مثلاً در طول فاز مفهوم و تعریف، هنگامی که فرصتی شناسایی می‌شود، ارزیابی ریسک می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد تا تصمیم گرفته شود که آیا پیشروی صورت گیرد یا خیر.

هنگامی که گزینه‌های متعددی موجودند، ارزیابی ریسک می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد تا مفاهیم مختلف مورد سنجش قرار گیرند و بدین ترتیب به تصمیم گیری در این مورد کمک کنند که کدام یک بهترین تعادل را بین ریسک‌ها فراهم می‌سازد.

در طول فاز طراحی و تکوین، ارزیابی ریسک به موارد زیر کمک می‌کند:

- حصول اطمینان از این که ریسک‌ها قابل تحمل هستند؛
- فرآیند بهبود طراحی؛
- مطالعات صرفه اقتصادی؛
- شناسایی ریسک‌هایی که بر فازهای بعدی چرخه عمر اثر می‌گذارند.

با پیشروی فعالیت، ارزیابی ریسک را می‌توان برای ارائه اطلاعات به منظور کمک در تکوین روش‌های اجرایی برای وضعیت‌های عادی و اضطراری مورد استفاده قرار داد.

۶-۷ انواع تکنیک‌های ارزیابی ریسک

تکنیک‌های ارزیابی ریسک را می‌توان به طرق مختلفی طبقه بندی کرد تا به درک نقاط قوت و ضعف مرتبط آن‌ها کمک شود. جداول در پیوست الف برخی تکنیک‌های بالقوه و دسته‌های آن‌ها را برای مقاصد گویا مربوط می‌سازند.

هر یک از تکنیک‌ها بنا به ماهیت ارزیابی که ارائه می‌دهند و راهنمایی در مورد قابلیت کاربرد برای موقعیت-های معین در پیوست ب شرح داده می‌شوند.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

مقایسه تکنیک‌های ارزیابی ریسک

الف -۱ انواع تکنیک‌ها

اولین طبقه بندی، چنان که در ذیل می‌بینید، نشان می‌دهد که چگونه تکنیک‌ها در هر گام از فرآیند ارزیابی ریسک به کار می‌روند:

- شناسایی ریسک؛
- تحلیل ریسک – تحلیل عواقب؛
- تحلیل ریسک – برآورد کیفی، نیمه کمّی یا کمّی احتمال؛
- تحلیل ریسک – ارزیابی اثربخشی هر کنترل موجود؛
- تحلیل ریسک – برآورد سطح ریسک؛
- سنجش ریسک.

برای هر گام در فرآیند ارزیابی ریسک، به کار گیری روش به این صورت توصیف می‌شود که یا کاملا قابل کاربرد است، یا قابل کاربرد است یا غیر قابل کاربرد است (به جدول الف -۱ مراجعه کنید).

الف -۲ عوامل تاثیرگذار بر انتخاب تکنیک‌های ارزیابی ریسک

وصفی‌های روش از وجوه زیر توصیف می‌شوند:

- پیچیدگی مشکل و روش‌های مورد نیاز برای تحلیل آن؛
- ماهیت و میزان عدم قطعیت ارزیابی ریسک بر اساس میزان اطلاعاتی که در دسترس است و آنچه برای برآوردن اهداف مورد نیاز است؛
- میزان منابع مورد نیاز از نظر زمان و سطح تخصص، نیازهای داده‌ها یا هزینه؛
- این که آیا روش می‌تواند خروجی کمّی ارائه دهد.

مثال‌های انواع روش‌های ارزیابی ریسک موجود در جدول الف -۲ فهرست شده اند و در این جداول هر روش از نظر این وصفی‌ها با عنوان بالا، متوسط یا پایین درجه بندی شده است.

جدول الف -۱ قابلیت کاربرد ابزارهای مورد استفاده برای ارزیابی ریسک

تکنیک‌ها و ابزار	فرآیند ارزیابی ریسک					پیوست
	شناسایی ریسک	تحلیل ریسک			سنجش ریسک	
		عواقب	احتمال	سطح ریسک		
توفان ذهنی	SA[1)]	NA[2)]	NA	NA	NA	ب ۱
مصاحبه‌های ساختار یافته یا نیمه ساختار یافته	SA	NA	NA	NA	NA	ب ۲
دلفی	SA	NA	NA	A	NA	ب ۳
فهرست‌های وارسی	SA	NA	NA	NA	NA	ب ۴
تحلیل اولیه‌ی خطر	SA	NA	NA	SA	NA	ب ۵
مطالعات خطر و قابلیت بهره برداری (HAZOP)	SA	SA	A[3)]	SA	A	ب ۶
تحلیل خطر و نقاط کنترل مهم (HACCP)	SA	SA	NA	A	SA	ب ۷
ارزیابی ریسک محیطی	SA	SA	SA	A	SA	ب ۸
ساختار "اگر .... چه؟" (SWIFT)	SA	SA	SA	SA	SA	ب ۹
تحلیل سناریو	SA	SA	A	SA	A	ب ۱۰
تحلیل پیامد بر کسب و کار	A	SA	A	A	A	ب ۱۱
تحلیل علل ریشه ای	NA	SA	SA	A	SA	ب ۱۲
تحلیل تاثیر مُد خرابی	SA	SA	SA	A	SA	ب ۱۳
تحلیل درخت خرابی	A	NA	SA	NA	A	ب ۱۴
تحلیل درخت رخداد	A	SA	A	A	NA	ب ۱۵
تحلیل علت و عواقب	A	SA	SA	A	A	ب ۱۶
تحلیل علت و معلولی	SA	SA	NA	SA	NA	ب ۱۷
تحلیل لایه‌ی حفاظت (LOPA)	A	SA	A	SA	NA	ب ۱۸
درخت تصمیم	NA	SA	SA	SA	A	ب ۱۹
تحلیل قابلیت اطمینان انسانی	SA	SA	SA	NA	A	ب ۲۰
تحلیل پاپیونی[4]	NA	A	SA	NA	A	ب ۲۱
نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان	SA	SA	SA	NA	SA	ب ۲۲
تحلیل مدار پنهان	A	NA	NA	NA	NA	ب ۲۳
تحلیل مارکف	A	SA	NA	A	NA	ب ۲۴
شبیه سازی مونت کارلو	NA	NA	NA	A	SA	ب ۲۵
آمار بیزی و شبکه‌های بیز	NA	SA	NA	SA	SA	ب ۲۶
منحنی‌های FN	A	SA	SA	A	SA	ب ۲۷
شاخص‌های ریسک	A	SA	SA	SA	SA	ب ۲۸
ماتریس عواقب/احتمال	SA	SA	SA	NA	A	ب ۲۹
تحلیل هزینه/سود	A	SA	A	NA	A	ب ۳۰
تحلیل تصمیم گیری چند معیاره (MCDA)	A	SA	A	A	A	ب ۳۱

[1)] کاملا قابل کاربرد

[2)] غیر قابل کاربرد

[3)] قابل کاربرد.

[4)] Bow tie analysis

جدول الف -۲ وصفی‌های انتخاب ابزارهای ارزیابی ریسک

انواع تکنیک-های ارزیابی ریسک	توصیف	ارتباط عوامل تاثیرگذار			آیا می‌تواند خروجی کمّی فراهم سازد؟
		منابع و توانمندی‌ها	ماهیت و میزان عدم قطعیت	پیچیدگی	
روش‌های جستجو					
فهرست‌های وارسی	شکلی ساده از شناسایی ریسک. تکنیکی که فهرستی از عدم قطعیت‌های معمول ارائه می‌دهد که نیاز است مورد بررسی قرار گیرند. کاربران به فهرست، کدها یا استانداردهای از پیش تکوین شده مراجعه می‌کنند.	پایین	پایین	پایین	خیر
تحلیل مقدماتی خطر	یک روش استنتاجی تحلیل که هدف آن شناسایی خطرات و موقعیت‌ها و رخدادهای خطرناکی است که می‌توانند برای فعالیت، تسهیلات یا سیستمی خاص، آسیبی ایجاد کنند	پایین	بالا	متوسط	خیر
روش‌های پشتیبان					
مصاحبه ساختاریافته و توفان ذهنی	روشی برای جمع آوری مجموعه‌ای گسترده از ایده‌ها و سنجش و درجه بندی آن‌ها توسط یک گروه. توفان ذهنی ممکن است از طریق اعلان‌ها یا تکنیک‌های مصاحبه فردی یا گروهی شبیه سازی شود	پایین	پایین	پایین	خیر
تکنیک دلفی	یک روش ترکیب نظرات تخصصی که می‌تواند از منبع و شناسایی تاثیر، احتمال و برآورد عواقب و سنجش ریسک پشتیبانی کند. فنی رایج برای ایجاد توافق بین متخصصین است. شامل تحلیل مستقل و رای گیری از متخصصین است.	متوسط	متوسط	متوسط	خیر
SWIFT «اگر ....چه؟» ساختاریافته	سیستمی برای برانگیختن گروه به منظور شناسایی ریسک‌ها. معمولاً در کارگاهی مجهز مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً با تکنیک تحلیل و سنجش ریسک پیوند دارد.	متوسط	متوسط	با هر پیچیدگی	خیر

انواع تکنیک-های ارزیابی ریسک	توصیف	ارتباط عوامل تاثیرگذار			آیا می‌تواند خروجی کمّی فراهم سازد؟
		منابع و توانمندی‌ها	ماهیت و میزان عدم قطعیت	پیچیدگی	
تحلیل قابلیت اطمینان انسانی (HRA)	ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی(HRA) به تاثیر انسان‌ها بر عملکرد سیستم می‌پردازد و می‌تواند برای سنجش پیامدهای خطای انسانی بر سیستم مورد استفاده قرار گیرد	متوسط	متوسط	متوسط	بله
تحلیل سناریو					
تحلیل علت ریشه‌ای (تحلیل ضرر واحد)	یک رخداد مضر تحلیل می‌شود تا دلایل کمک کننده و نحوه بهبود بخشیدن به فرآیند یا سیستم درک شوند تا در آینده از چنین ضررهایی، اجتناب شود. تحلیل باید در نظر بگیرد که چه کنترل‌هایی در زمان رخداد مضر رخ داده اند و کنترل‌ها چگونه ممکن است بهبود یابند	متوسط	پایین	متوسط	خیر
تحلیل سناریو	سناریوهای محتمل در آینده از طریق تصور کردن یا برون یابی از ریسک‌های فعلی و متفاوت مورد بررسی شناسایی می‌شوند، با این فرض که هر یک از این سناریوها ممکن است رخ دهد. این کار می‌تواند به صورت رسمی یا غیررسمی، کیفی یا کمّی انجام گیرد.	متوسط	بالا	متوسط	خیر
تحلیل ریسک مربوط به زهر شناسی	خطرات، شناسایی و تحلیل می‌شوند و مسیرهای ممکن که هدفی مشخص شده از طریق آن‌ها ممکن است در معرض خطر قرار بگیرد، شناسایی می‌شوند. اطلاعات در مورد سطح در معرض قرار گرفتن و ماهیت آسیب حاصل از سطح معینی از در معرض قرار گرفتن ترکیب می‌شوند تا اندازه احتمال وقوع آسیبی مشخص را تعیین کنند	بالا	بالا	متوسط	بله
تحلیل پیامد بر کسب و کار	تحلیلی از نحوه تاثیرگذاری ریسک‌های کلیدی قطع بهره‌برداری‌های سازمان ارائه می‌دهد و توانمندی-هایی را که برای مدیریت آن مورد نیاز هستند، شناسایی و به طور کمّی بیان می‌کند	متوسط	متوسط	متوسط	خیر
تحلیل درخت خرابی	تکنیکی که با رخداد نامطلوب آغاز می‌شود (رخداد بالا) و تمام راه‌های وقوع آن را تعیین می‌کند. این راه‌ها به صورت گرافیکی در یک نمودار درخت منطقی نمایش داده می‌شوند. هنگامی که درخت خرابی تکوین شد، بایستی به راه‌های کاهش یا حذف دلایل/منابع بالقوه توجه نمود	بالا	بالا	متوسط	بله

انواع تکنیک-های ارزیابی ریسک	توصیف	ارتباط عوامل تاثیرگذار			آیا می‌تواند خروجی کمّی فراهم سازد؟
		منابع و توانمندی‌ها	ماهیت و میزان عدم قطعیت	پیچیدگی	
تحلیل درخت رخداد	استفاده از استدلال استقرایی برای ترجمه کردن احتمالات رخدادهای آغازین مختلف به پیامدهای احتمالی	متوسط	متوسط	متوسط	بله
تحلیل علت/عواقب	ترکیبی از تحلیل خرابی و درخت رخداد که شمول تاخیر زمانی را ممکن می‌سازد. دلایل و همچنین عواقب رخدادی آغازین در نظر گرفته می‌شوند	بالا	متوسط	بالا	بله
تحلیل علت و معلولی	یک معلول ممکن است تعدادی عوامل کمک کننده داشته باشد که می‌توان آن‌ها را در دسته‌های مختلف طبقه بندی کرد. عوامل کمک کننده اغلب از طریق توفان ذهنی شناسایی می‌شوند و در یک ساختار درختی یا نمودار استخوان ماهی نمایش داده می‌شوند	پایین	پایین	متوسط	خیر
تحلیل وظیفه‌ای					

انواع تکنیک-های ارزیابی ریسک	توصیف	ارتباط عوامل تاثیرگذار			آیا می‌تواند خروجی کمّی فراهم سازد؟
		منابع و توانمندی‌ها	ماهیت و میزان عدم قطعیت	پیچیدگی	
FMEA و FMECA	FMEA (مد خرابی و تحلیل تاثیر) فنی است که مُدهای خرابی و سازوکارها و تاثیرات آن‌ها را شناسایی می‌کند. انواع متعددی از FMEA موجودند: FMEA طراحی (یا محصول) که برای اجزاء و محصولات مورد استفاده قرار می‌گیرد، FMEA سیستم که برای سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، FMEA فرآیند که برای فرآیندهای ساخت و مونتاژ قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرد، FMEA خدمات و FMEA نرم افزار. ممکن است پس از FMEA یک تحلیل خطیر بودن انجام گیرد که اهمیت هر مُد خرابی را به صورت کیفی، نیمه کیفی یا کمّی (FMEA) تعریف می‌کند. تحلیل خطیر بودن ممکن است بر اساس این احتمال باشد که مُد خرابی منجر به خرابی سیستم یا سطح ریسک مربوط به مُد خرابی یا عدد اولویت ریسک شود	متوسط	متوسط	متوسط	بله
نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان	روشی برای شناسایی خط مشی‌هایی که بایستی پیاده سازی شوند تا خرابی‌ها را مدیریت کنند و به صورت کارآمد و اثربخش به ایمنی، در دسترس بودن و اقتصاد مورد نیاز برای بهره برداری تمام انواع تجهیزات دست یابند	متوسط	متوسط	متوسط	بله
تحلیل پنهان (تحلیل مدار پنهان)	یک متدولوژی برای شناسایی خطاهای طراحی. یک وضعیت حالت‌های پنهان، وضعیت سخت افزاری، نرم‌افزاری یا ترکیبی پنهانی است که ممکن است سبب وقوع رخدادی ناخواسته شود یا مانع از رخدادی مطلوب شود و ناشی از خرابی جزء نیست. ویژگی این وضعیت‌ها ماهیت تصادفی آن‌ها و قابلیت آن‌ها در گریز از کشف طی شدیدترین آزمون‌های سیستم استاندارد است. وضعیت‌های پنهان می‌توانند سبب بهره برداری نامناسب، از دست رفتن آمادگی سیستم، تاخیرات برنامه‌ای یا حتی مرگ و آسیب پرسنل شوند	متوسط	متوسط	متوسط	بله

انواع تکنیک-های ارزیابی ریسک	توصیف	ارتباط عوامل تاثیرگذار			آیا می‌تواند خروجی کمّی فراهم سازد؟
		منابع و توانمندی‌ها	ماهیت و میزان عدم قطعیت	پیچیدگی	
HAZOP مطالعات خطر و قابلیت بهره برداری	یک فرآیند کلی شناسایی ریسک برای تعریف انحرافات ممکن از عملکرد مورد انتظار یا مورد نظر. این فرآیند از سیستمی بر اساس واژه راهنما استفاده می‌کند. خطیر بودن انحرافات مورد ارزیابی قرار می‌گیرند	متوسط	بالا	بالا	خیر
HACCP تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی	سیستمی سیستماتیک، پیشگیرانه و ممانعتی برای اطمینان یافتن از کیفیت محصول، قابلیت اطمینان و ایمنی فرآیندها از طریق اندازه گیری و پایش ویژگی‌های خاصی که نیاز است در محدوده تعریف شده باشند	متوسط	متوسط	متوسط	خیر

مثالی از نوع روش و تکنیک ارزیابی ریسک	توصیف	ارتباط عوامل تاثیر- گذار			آیا خروجی کمّی ممکن است؟
ارزیابی کنترل ها					
(LOPA) (تحلیل لایه‌های حفاظت)	(می توان آن را تحلیل مانع نیز نامید). سنجش کنترل‌ها و اثربخشی آن‌ها را ممکن می‌سازد	متوسط	متوسط	متوسط	بله
تحلیل پاپیونی	یک راه نموداری ساده توصیف و تحلیل مسیرهای ریسک از خطرات به پیامدها و بازنگری کنترل‌ها. می‌توان آن را ترکیبی از منطق درخت خرابی دانست که دلیل رخدادی را تحلیل می‌کند (که با گره پاپیون نمایش داده می‌شود) و درخت رخداد که عواقب را تحلیل می‌کند	متوسط	بالا	متوسط	بله
روش‌های آماری					
تحلیل مارکوف	تحلیل مارکوف که گاهی آن را تحلیل حالت-فضا می‌نامند، به طور رایج در تحلیل سیستم‌های پیچیده اصلاح پذیر به کار می‌رود که می‌توانند در چندین حالت، از جمله حالت‌های تنزل یافته مختلف، وجود داشته باشد.	بالا	پایین	بالا	بله
تحلیل مونت‌کارلو	شبیه سازی مونت‌کارلو برای ایجاد تغییرپذیری متراکم در سیستمی به کار می‌رود که حاصل تغییرات در سیستم برای تعدادی از ورودی‌ها است و در آن هر ورودی توزیعی تعریف شده دارد و ورودی‌ها از طریق روابط تعریف شده به ورودی مربوط می‌شوند. تحلیل می‌تواند برای مدل خاصی به کار رود که در آن برهم کنش‌های ورودی‌های مختلف می‌توانند به زبان ریاضی تعریف شوند. ورودی‌ها می‌توانند طبق ماهیت عدم قطعیتی که قرار است نمایش دهند، بر اساس انواع مختلفی از توزیع‌ها باشند. برای ارزیابی ریسک، توزیع‌های مثلثی یا توزیع‌های بتا به طور رایج مورد استفاده قرار می‌گیرند	بالا	پایین	بالا	بله
تحلیل بیزی	یک روش اجرایی آماری که از داده‌های پیشین توزیع برای ارزیابی احتمال نتیجه استفاده می‌کند. تحلیل بیزی برای کسب نتیجه‌ای درست به درستی توزیع پیشین بستگی دارد. شبکه‌های اعتقاد بیزی علت و معلول را در حوزه‌های مختلفی مدل سازی می‌کنند. این کار از طریق کسب روابط احتمالی ورودی‌های مختلف برای نتیجه گیری انجام می‌گیرد	بالا	پایین	بالا	بله

پیوست ب

(اطلاعاتی)

تکنیک‌های ارزیابی ریسک

ب-۱ توفان ذهنی

ب-۱-۱ مرور کلی

توفان ذهنی شامل برانگیختن و تشویق گفتگویی آزاد بین گروهی از افراد مطلع است و مقصود از آن شناسایی مُدهای بالقوه خرابی و خطرات، ریسک‌ها، معیارهای تصمیم گیری و/یا گزینه‌هایی برای برخورد با آن‌ها است. اصطلاح "توفان ذهنی" اغلب به طور گسترده‌ای به معنای هر نوع بحث گروهی به کار می‌رود. با این حال توفان ذهنی حقیقی شامل تکنیک‌هایی خاص برای تلاش به منظور حصول اطمینان از این است که تخیل افراد با تفکرات و گفته‌های افراد دیگر گروه برانگیخته می‌شود.

تسهیل اثربخش در اجرای این تکنیک بسیار مهم است و شامل برانگیختن بحث در آغاز، برانگیختن افراد گروه به شرکت در حوزه‌های مرتبط دیگر و درک مسائلی است که از بحث برمی خیزند (که معمولاً نسبتاً جالب توجه است).

ب-۱-۲ استفاده

توفان ذهنی می‌تواند همراه با دیگر روش‌های ارزیابی ریسک به کار رود که در ذیل توصیف شده اند یا ممکن است به عنوان فنی برای تشویق تفکر با استفاده از تخیل در هر گام از فرآیند مدیریت ریسک و هر گام چرخه عمر سیستم، مستقلاً به کار رود. توفان ذهنی می‌تواند برای مباحث سطح بالا به کار رود که در آن‌ها مسائل برای بازنگری تفصیلی تر یا در سطحی تفصیلی برای مشکلاتی خاص شناسایی می‌شوند.

توفان ذهنی تاکید زیادی روی تخیل دارد. بنابراین به ویژه در شناسایی ریسک‌های تکنولوژی جدید مفید است که در مورد آن‌ها داده‌هایی وجود ندارند یا در جایی که برای مشکلات به راه حل‌هایی جدید نیاز است.

ب-۱-۳ ورودی ها

گروهی از افرادی که از سازمان، سیستم، فرآیند یا کاربرد مورد ارزیابی مطلع هستند.

ب-۱-۴ فرآیند

توفان ذهنی می‌تواند رسمی یاغیررسمی باشد. توفان ذهنی رسمی ساختاریافته تر است و شرکت کنندگان از قبل آمادگی دارند و جلسه مقصود و پیامد تعریف شده‌ای دارد و روشی برای سنجش ایده‌ها ارائه می‌شود. توفان ذهنی غیررسمی کمتر ساختاریافته است و اغلب بیشتر دارای کاربرد موردی است.

در یک فرآیند رسمی:

- تسهیل‌گر[1]، محرک‌ها و انگیزش‌هایی مناسب با فضا را قبل از جلسه آماده می‌کند؛
- اهداف جلسه تعریف می‌شوند و قواعد توضیح داده می‌شوند؛
- تسهیل‌گر یک روند ذهنی را آغاز می‌کند و همه در جستجوی ایده هستند و تا حد ممکن مسائل را شناسایی می‌کنند. در این مرحله هیچ بحثی در این مورد صورت نمی‌گیرد که چه چیزی بایستی در فهرست گنجانده شود یا نشود و منظور از جمله‌ای خاص چیست، چون این امر مانع تفکر آزاد می‌شود. تمام ورودی‌ها پذیرفته می‌شوند و هیچ یک مورد انتقاد قرار نمی‌گیرند و گروه به سرعت پیش می‌رود تا به ایده‌ها اجازه دهد تفکر جانبی ایجاد کنند؛
- تسهیل‌گر ممکن است در زمانی که یک جهت تفکر بی فایده شده یا بحثی بیش از حد از موضوع دور شده است، افراد را در جهت جدیدی هدایت کند.

ب-۱-۵ خروجی ها

خروجی‌ها به گامی از فرآیند مدیریت ریسک بستگی دارند که در آن به کار می‌روند، مثلاً در مرحله شناسایی، خروجی‌ها ممکن است فهرستی از ریسک‌ها و کنترل‌های فعلی باشند.

ب-۱-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت توفان ذهنی عبارتند از:

- تخیل را تشویق می‌کند که به شناسایی ریسک‌های جدید و راه حل‌های نو کمک کند؛
- علاقمندان کلیدی را درگیر می‌کند و از این رو به طور کلی به تبادل اطلاعات کمک می‌کند؛
- پیاده سازی نسبتاً سریع و آسان است.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- ممکن است شرکت کنندگان از مهارت و دانش لازم برخوردار نبوده و نتوانند به طور اثربخش مفید باشند؛
- از آنجا که توفان ذهنی نسبتاً بدون ساختار است، به سختی می‌توان اثبات کرد که فرآیند جامع بوده است، مثلاً نتوان اثبات کرد که تمام ریسک‌های بالقوه شناسایی شده اند؛
- ممکن است پویایی خاصی در گروه برقرار باشد و طبق آن افرادی با ایده‌هایی ارزشمند سکوت کنند، در حالی که بقیه بر بحث مسلط باشند. می‌توان از طریق توفان ذهنی رایانه ای، استفاده از اتاق گپ یا تکنیک گروهی نامی بر این مشکل غلبه کرد. توفان ذهنی رایانه‌ای می‌تواند بدون نام تنظیم شود

1- Facilitator

تا از مسائل شخصی و سیاسی که مانع از جریان آزاد ایده‌ها می‌شوند، اجتناب شود. در تکنیک گروهی نامی، ایده‌ها به صورت بدون نام به میانجی ارائه می‌شوند و سپس گروه در مورد آن‌ها به بحث می‌پردازد.

ب-۲ مصاحبه‌های ساختاریافته یا نیمه ساختاریافته

ب-۲-۱ مرور کلی

در مصاحبه ساختاریافته، از افراد مورد مصاحبه مجموعه‌ای از پرسش‌های آماده از برگه برانگیزنده[1] پرسیده می‌شود که آن‌ها را تشویق می‌کند موقعیت را از دیدگاه متفاوتی ببینند و بنابراین ریسک‌ها را از آن دیدگاه شناسایی کنند. مصاحبه نیمه ساختاریافته مشابه مصاحبه ساختاریافته است، اما به گفتگو، آزادی بیشتری برای پرداختن به مسائلی که مطرح می‌شوند، می‌دهد.

ب-۲-۲ استفاده

مصاحبه‌های ساختاریافته و غیرساختاریافته در مواردی که گرد هم آوردن افراد برای جلسه توفان ذهنی مشکل است یا بحث آزاد در گروهی برای موقعیت یا افراد درگیر مناسب نیست، مفیدند. این نوع مصاحبه‌ها اغلب برای شناسایی ریسک‌ها یا ارزیابی اثربخشی کنترل‌های موجود به عنوان قسمتی از تحلیل ریسک به کار می‌روند. می‌توان از آنها در هر مرحله از پروژه یا فرآیند استفاده نمود. این مصاحبه‌ها روشی برای ارائه ورودی علاقمندان به ارزیابی ریسک هستند.

ب-۲-۳ ورودی ها

ورودی‌ها شامل موارد زیر هستند:

- تعریفی روشن از اهداف مصاحبه‌ها؛
- فهرستی از مصاحبه شوندگان از علاقمندان مرتبط؛
- مجموعه‌ای از پرسش‌های آماده.

ب-۲-۴ فرآیند

مجموعه مرتبطی از پرسش‌ها تهیه می‌شود تا مصاحبه کننده را راهنمایی کند. پرسش‌ها بایستی بر حسب اقتضا خودانگیز[2] باشند، بایستی ساده باشند و در آن‌ها زبانی به کار رفته باشد که برای مصاحبه شونده مناسب است و تنها یک مسئله را پوشش دهند. پرسش‌های پیگیری برای روشن کردن موضوع نیز آماده می-شوند.

---

1 - Propmting

2 - Open-ended

سپس پرسش‌ها برای فرد مورد مصاحبه مطرح می‌شوند. در صورتی که به دنبال تشریح هستیم، پرسش‌ها بایستی خودانگیز باشند. بایستی دقت شود که مصاحبه شونده در جهت خاصی هدایت نشود.

پاسخ‌ها بایستی با درجه‌ای از انعطاف در نظر گرفته شوند تا فرصت کاوش در حوزه‌هایی را ایجاد کنند که مصاحبه شونده مایل است به آن‌ها بپردازد.

ب-۲-۵ خروجی ها

خروجی‌ها نظرات علاقمند در مورد مسائل موضوع مصاحبه‌ها هستند.

ب-۲-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت مصاحبه‌های ساختاریافته عبارتند از:

- مصاحبه‌های ساختاریافته به افراد زمانی برای تفکر در مورد مسائل می‌دهند؛
- تبادل اطلاعات یک به یک می‌تواند بررسی عمیق مسائل را ممکن سازد؛
- مصاحبه ساختاریافته می‌تواند نسبت به توفان ذهنی که از گروهی نسبتاً کوچک استفاده می‌کند، تعداد بیشتری از علاقمندان را دخیل کند.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- کسب نظرات متعدد به این روش برای تسهیل گر زمان گیر است؛
- تعصب تحمل می‌شود و در طول بحث گروهی حذف نمی‌شود؛
- برانگیختن تخیل که یک ویژگی توفان ذهنی است را نمی‌توان کسب کرد.

ب-۳ تکنیک دلفی

ب-۳-۱ مرور کلی

تکنیک دلفی یک روش اجرایی است برای کسب توافق نظر قابل اطمینان بین گروهی از متخصصین. گرچه این اصطلاح در حال حاضر اغلب به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و منظور از آن هر نوع توفان ذهنی است، یک ویژگی ضروری تکنیک دلفی، چنان که در اصل در نظر گرفته شده است، این است که متخصصین نظرات خود را به صورت منفرد و بدون نام بیان می‌کنند در حالی که با پیشروی فرآیند به نظرات دیگر متخصصین دسترسی دارند.

ب-۳-۲ استفاده

تکنیک دلفی را می‌توان در هر گام از فرآیند مدیریت ریسک یا هر فازی از چرخه عمر سیستم، هرگاه که نیاز به توافق نظر بین متخصصین است، به کار برد.

ب-۳-۳ ورودی ها

مجموعه‌ای از گزینه‌ها که برای آنها به توافق نیاز است.

ب-۳-۴ فرآیند

از گروهی از متخصصین، با استفاده از پرسشنامه نیمه ساختاریافته سوال پرسیده می‌شود. متخصصین با یکدیگر ملاقات نمی‌کنند تا نظراتشان مستقل باشند.

روش اجرایی به این صورت است:

- تشکیل یک گروه برای انجام و پایش فرآیند دلفی؛
- انتخاب گروهی از متخصصین (ممکن است یک یا چند هیئت متخصص باشد)؛
- تکوین پرسشنامه نوبت اول؛
- آزمون پرسشنامه؛
- ارسال پرسشنامه به تک تک اعضای هیئت؛
- اطلاعات نوبت اول پاسخ‌ها تحلیل و ترکیب می‌شود و مجددا بین اعضای هیئت منتشر می‌شود؛
- اعضای هیئت پاسخ می‌دهند و فرآیند تا زمانی که توافق کسب شود ادامه می‌یابد.

ب-۳-۵ خروجی ها

همگرایی در جهت توافق در مورد موضوع مورد نظر.

ب-۳-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت عبارتند از:

- از آنجا که نظرات بدون نام هستند، احتمال ابراز نظرات نامتعارف بالاست؛
- تمام نظرات وزن یکسانی دارند و این امر مانع از مشکل شخصیت‌های غالب می‌شود؛
- به مالکیت پیامدها دست می‌یابد؛
- نیازی نیست در یک زمان معین افراد را در یک جا گرد هم آورد.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- نیاز به کار شدید دارد و زمان گیر است؛
- نیاز است که شرکت کنندگان قادر باشند نظراتشان را به طور روشن و به صورت کتبی بیان کنند.

ب-۴ فهرست‌های وارسی

ب-۴-۱ مرور کلی

فهرست‌های وارسی فهرست‌هایی از خطرات، ریسک‌ها یا خرابی‌های کنترل هستند که معمولاً از تجربه‌ها، یا در نتیجه ارزیابی ریسک قبلی یا در نتیجه خرابی‌های قبلی تکوین شده اند.

ب-۴-۲ استفاده

فهرست وارسی می‌تواند برای شناسایی خطرات و ریسک‌ها برای ارزیابی اثربخشی کنترل‌ها به کار رود. می-توان از آن در هر گامی از چرخه عمر محصول، فرآیند یا سیستم استفاده کرد. می‌توان آن را به عنوان قسمتی از تکنیک‌های ارزیابی ریسک به کار برد، اما بیشتر در زمانی مفید است که برای وارسی این به کار می‌رود که همه چیز پس از به کار گیری فنی تخیلی که مشکلات را شناسایی می‌کند، تحت پوشش قرار گرفته است.

ب-۴-۳ ورودی ها

اطلاعات پیشین و تخصص در مورد مسئله به گونه‌ای که یک فهرست وارسی مرتبط و ترجیحا معتبر را بتوان انتخاب یا تکوین نمود.

ب-۴-۴ فرآیند

روش اجرایی به صورت زیر است:

- دامنه و موضوع کاربرد فعالیت تعریف می‌شود؛
- یک فهرست وارسی انتخاب می‌شود که به نحو مناسب هدف و دامنه کابرد را پوشش می‌دهد. نیاز است که فهرست‌های وارسی با دقت برای مقصود مورد نظر انتخاب شوند. مثلاً نمی‌توان از یک فهرست وارسی کنترل‌های استاندارد برای شناسایی خطرات یا ریسک‌های جدید استفاده کرد؛
- فرد یا گروهی که از فهرست وارسی استفاده می‌کند گام به گام عناصر فرآیند یا سیستم بازنگری می‌کند و بررسی می‌کند که آیا اقلام در فهرست وارسی حاضر هستند.

ب-۴-۵ خروجی ها

خروجی‌ها به گامی از فرآیند ارزیابی ریسک بستگی دارند که در آن به کار می‌روند. مثلاً خروجی ممکن است فهرستی از کنترل‌ها باشد که ناکافی هستند یا فهرستی از ریسک‌ها باشد.

ب-۴-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت فهرست‌های وارسی عبارتند از:

- می‌تواند مورد استفاده غیرمتخصصین قرار گیرند؛

- در صورتی که به خوبی طراحی شده باشند، تخصصی گسترده را با سیستمی ترکیب می‌کنند که به راحتی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛
- می توانند به حصول اطمینان از این کمک کنند که مشکلات رایج فراموش نمی‌شوند.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- مانع تخیل در شناسایی ریسک‌ها می‌شوند؛
- به "دانسته‌های دانسته"، "نادانسته‌های دانسته" و "نادانسته‌های نادانسته" می‌پردازند؛
- رفتار از نوع «علامت زدن یک قسمت[1]» را تشویق می‌کنند؛
- بر اساس مشاهده هستند، بنابراین مشکلاتی را که فورا دیده نمی‌شوند، از دست می‌دهند.

ب-۵ تحلیل مقدماتی خطر[2] PHA

ب-۵-۱ مرور کلی

PHA روشی ساده و استنتاجی است که هدف آن شناسایی خطرات و موقعیت‌ها و رخدادهای خطرناکی است که می‌توانند به فعالیت، تسهیلات یا سیستمی معین آسیب برسانند.

ب-۵-۲ استفاده

معمولاً در ابتدای تکوین پروژه، در زمانی انجام می‌گیرد که اطلاعات کمی در مورد جزئیات طراحی یا روش-های اجرایی بهره برداری موجود است و اغلب پیشرو مطالعات بیشتر یا ارائه اطلاعات برای مشخص نمودن طراحی سیستم است. همچنین در زمان تحلیل سیستم‌های موجود برای تعیین اولویت خطرات و ریسک‌ها برای تحلیل بیشتر یا در جایی که اوضاع و احوال مانع استفاده از فنی گسترده تر می‌شوند، مفید است.

ب-۵-۳ ورودی ها

ورودی‌ها عبارتند از:

- اطلاعات در مورد سیستمی که قرار است ارزیابی شود؛
- جزئیات طراحی سیستم که در دسترس و مرتبط هستند.

ب-۵-۴ فرآیند

فهرستی از خطرات و موقعیت‌های عام خطرناک و ریسک‌ها با در نظر گرفتن ویژگیهایی از قبیل موارد زیر تنظیم می‌شوند:

- مواد مورد استفاده یا تولید شده و واکنش پذیری آن‌ها؛

---

1 - Tick the box

2 - Preliminary hazard analysis

- تجهیزات به کار رفته؛
- محیط بهره برداری؛
- جانمایی؛
- واسط‌های بین اجزاء سیستم و غیره.

تحلیل کیفی عواقب رخدادی ناخواسته و احتمال آن‌ها را می‌توان انجام داد تا ریسک‌ها برای ارزیابی بیشترشناسایی شوند.

PHA بایستی در طول فازهای طراحی، ساخت و آزمون به روز شود تا هر خطر جدیدی را کشف کند و در صورت لزوم، اصلاحاتی انجام دهد. نتایج به دست آمده ممکن است به طرق مختلفی مانند جدول و درخت ارائه شوند.

ب-۵-۵ خروجی ها

خروجی‌ها عبارتند از:

- فهرستی از خطرات و ریسک‌ها؛
- توصیه‌هایی به شکل پذیرش، کنترل‌های توصیه شده، مشخصات طراحی یا درخواست برای ارزیابی تفصیلی تر.

ب-۵-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت عبارتند از:

- می توان از آن در زمانی که اطلاعات محدود هستند استفاده کرد؛
- بررسی ریسک‌ها را در ابتدای چرخه عمر سیستم ممکن می‌سازد.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- PHA تنها اطلاعات مقدماتی را ارائه می‌دهد. جامع نیست و همچنین اطلاعات تفصیلی در مورد ریسک‌ها و نحوه ممانعت از آن‌ها به بهترین شکل را ارائه نمی‌دهد.

ب-۶ HAZOP

ب-۶-۱ مرور کلی

HAZOP سرواژه مطالعه خطر (**HAZ**ard) و قابلیت بهره برداری (**Op**erability) است و بررسی ساختاریافته و سیستماتیک محصول، فرآیند، روش اجرایی یا سیستمی طراحی شده یا موجود است. فنی است برای شناسایی ریسک‌ها برای افراد، تجهیزات، محیط و/یا اهداف سازمانی. در ضمن از گروه مطالعه انتظار می‌رود که بر حسب اقتضا راه حلی برای برخورد با ریسک ارائه دهد.

فرآیند HAZOP فنی کیفی بر اساس استفاده از واژه‌های راهنمایی است که این پرسش را مطرح می‌کنند که مقصود طراحی یا وضعیت‌های بهره برداری چگونه ممکن است در هر گام از طراحی، فرآیند، روش اجرایی یا سیستم کسب نشوند. معمولاً توسط یک گروه چندرشته‌ای در طول مجموعه‌ای از جلسات انجام می‌گیرد.

HAZOP از این نظر شبیه به FMEA است که مُدهای خرابی فرآیند، سیستم یا روش اجرایی، دلایل و عواقب آن‌ها را شناسایی می‌کند. تفاوتشان در این است که در HAZOP، گروه، پیامدها و انحرافات ناخواسته را از وضعیت‌های مورد نظر بررسی می‌کند و بعد روی دلایل و مُدهای خرابی کار می‌کند، در حالی که FMEA با شناسایی مُدهای خرابی شروع می‌شود.

ب-۶-۲ استفاده

تکنیک HAZOP در ابتدا برای تحلیل سیستم‌های فرآیندهای شیمیایی تکوین شد، اما به انواع دیگری از سیستم‌ها و عملیات پیچیده بسط داده شده است. این موارد عبارتند از سیستم‌های مکانیکی و الکترونیک، روش‌های اجرایی و سیستم‌های نرم افزار و حتی تغییرات سازمانی و طراحی و بازنگری قرارداد قانونی.

فرآیند HAZOP می‌تواند به تمام اشکال انحراف از مقصود طراحی بنا به نقص‌های طراحی، جزء/اجزاء، روش‌های اجرایی طراحی شده و اقدامات انسانی، بپردازد.

این فرآیند به طور گسترده‌ای برای بازنگری طراحی نرم افزار به کار می‌رود. هنگامی که در کنترل دستگاه حیاتی ایمنی و سیستم‌های رایانه‌ای به کار می‌رود، می‌توان آن را تحلیل CHAZOP[1] (خطرات کنترل و قابلیت بهره برداری) یا تحلیل خطر و قابلیت بهره برداری رایانه‌ای نامید.

مطالعه HAZOP معمولاً در گام طراحی تفصیلی انجام می‌گیرد، زمانی که نمودار کامل فرآیند مورد نظر موجود است، اما تغییرات طراحی هنوز قابل اجرا هستند. با این حال ممکن است با رویکردی فازی با واژه-های راهنمای برای هر گام، حین تکوین تفصیلی طراحی انجام گیرد. مطالعه HAZOP نیز ممکن است در طول بهره برداری انجام گیرد اما تغییرات مورد نیاز ممکن است در این گام پرهزینه باشند.

ب-۶-۳ ورودی ها

ورودی‌های ضروری به مطالعه HAZOP شامل اطلاعات فعلی در مورد سیستم، فرآیند یا روش اجرایی مورد بازنگری و مقصود و مشخصات عملکرد طراحی است. ورودی‌ها می‌تواند شامل این موارد باشند: ترسیم‌ها، نقشه‌ها، برگه‌های مشخصات، نمودارهای جریان، کنترل فرآیند و نمودارهای منطقی، ترسیم‌های جانمایی، روش‌های اجرایی بهره برداری و نگهداری و روش‌های اجرایی پاسخ اضطراری. برای HAZOP مرتبط غیر سخت افزاری، ورودی‌ها می‌توانند هر مدرکی باشند که وظایف و عناصر سیستم یا روش اجرایی مورد مطالعه را توصیف می‌کند. مثلاً ورودی‌ها می‌توانند نمودارهای سازمانی و توصیفات نقش، پیش نویس قرارداد یا حتی پیش نویس روش اجرایی باشند.

1- **C**ontrol **HAZ**ards and **Op**erability

ب-۶-۴ فرآیند

HAZOP طرح و مشخصات فرآیند، روش اجرایی یا سیستم مورد مطالعه را در نظر می‌گیرد و هر قسمت از آن را بازنگری می‌کند تا کشف کند که چه انحرافاتی از عملکرد مورد نظر می‌توانند رخ دهند، دلایل بالقوه کدامند و عواقب احتمالی یک انحراف کدامند. این امر با بررسی سیستماتیک نحوه پاسخ گویی هر قسمت از سیستم، فرآیند یا روش اجرایی به تغییرات در پارامترهای کلیدی با استفاده از واژه‌های راهنمای مناسب به دست می‌آید. واژه‌های راهنما می‌توانند برای سیستم، فرآیند یا روش اجرایی، سفارشی شوند یا واژه‌های عامی می‌توانند به کار روند که دربرگیرنده تمام انواع انحرافات هستند. جدول ب-۱ مثال‌هایی از واژه‌های راهنمای مورد استفاده مشترک را برای سیستم‌های فنی ارائه می‌دهد. واژه‌های راهنمای مشابهی مانند "بسیار زود"، "بسیار دیر"، "بسیار زیاد"، "بسیار کم"، "بسیار بلند"، "بسیار کوتاه"، "جهت نادرست"، روی "شیء نادرست"، "اقدام نادرست" می‌توانند برای شناسایی مُدهای خطای انسانی به کار روند.

گام‌های معمول در یک مطالعه HAZOP عبارتند از:

- تعیین فردی با مسئولیت و اختیار لازم برای انجام مطالعه HAZOP و حصول اطمینان از این که هر اقدامی ناشی از مطالعه انجام می‌شود؛
- تعریف دامنه مطالعه؛
- ایجاد مجموعه‌ای از واژگان کلیدی یا راهنما برای مطالعه؛
- تعریف گروه مطالعه HAZOP. این گروه معمولاً چندرشته‌ای است و بایستی شامل پرسنل طراحی و بهره برداری با تخصص فنی مناسب برای سنجش تاثیرات انحرافات از طراحی مورد نظر یا فعلی باشد. بایستی که گروه شامل افرادی باشد که مستقیما در طراحی یا سیستم، فرآیند یا روش اجرایی مورد بازنگری دخالت ندارند؛
- جمع آوری مستندسازی مورد نیاز.

درون کارگاهی با گروه مطالعه:

- تقسیم سیستم، فرآیند یا روش اجرایی برای هر زیرسیستم یا زیرفرآیند یا عنصر فرعی برای محسوس کردن بازنگری؛
- توافق در مورد مقصود طراحی برای هر زیرسیستم، زیرفرآیند یا عنصر فعلی و سپس برای هر قلم در آن زیرسیستم یا عنصر که از واژه‌های راهنما، یکی پس از دیگری برای قیاس منطقی انحرافات ممکن استفاده می‌کند که پیامدهای نامطلوب دارند؛
- در جایی که پیامد نامطلوبی شناسایی می‌شود، توافق در مورد دلیل و عواقب در هر مورد و پیشنهاد نحوه برخورد با آن‌ها برای ممانعت از وقوع آن‌ها یا تخفیف عواقب در صورت وقوع آن‌ها؛
- مستندسازی بحث و توافق در مورد اقدامات خاصی برای برخورد با ریسک‌های شناسایی شده.

جدول ب-۱ مثالی از واژه‌های راهنمای ممکن HAZOP

اصطلاحات		تعاریف
نه یا نیست	No or not	هیچ قسمتی از نتیجه مورد نظر به دست نیامده یا وضعیت مورد نظر موجود نیست
بیشتر (بالاتر)	More (higher)	افزایش کمّی در خروجی یا وضعیت بهره برداری
کمتر (پایین‌تر)	Less (lower)	کاهش کمّی
به همان خوبی	As well as	افزایش کمّی (مثلاً ماده‌ای اضافی)
قسمتی از	Part of	کاهش کمّی (مثلاً تنها یک یا دو جزء از مخلوط)
معکوس/ وارونه	Reverse /opposite	وارونه (مثلاً جریان برگشتی)
غیر از	Other than	هیچ قسمتی از مقصود به دست نیامده، اتفاقی کاملا متفاوت روی می‌دهد (مثلاً جریان یا ماده‌ای نادرست)
سازگار بودن	Compatibility	ماده؛ محیط
واژگان راهنما در پارامترهایی از قبیل موارد زیر به کار می‌روند		
		خصوصیات فیزیکی یک ماده یا فرآیند
		وضعیت‌های فیزیکی مانند دما، سرعت
		مقصود مشخص یک جزء سیستم یا طراحی (مثلاً انتقال اطلاعات)
		جنبه‌های بهره برداری

ب-۶-۵ خروجی ها

صورت جلسه جلسات HAZOP با اقلامی برای هر نقطه بازنگری ثبت سابقه می‌شوند. این سابقه بایستی شامل واژه راهنمای مورد استفاده، انحراف (ها)، دلایل احتمالی، اقداماتی برای پرداختن به مشکلات شناسایی شده و فرد مسئول، باشد.

بایستی برای هر انحرافی که نمی‌توان آن را اصلاح کرد، ریسک انحراف ارزیابی شود.

ب-۶-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

تحلیل HAZOP مزایای زیر را دربردارد:

- راهی برای بررسی سیستماتیک و کامل یک سیستم، فرآیند یا روش اجرایی ارائه می‌دهد؛
- شامل یک گروه چندرشته‌ای است که دربرگیرنده افرادی است که تجربه بهره برداری حقیقی دارند و افرادی که ممکن است لازم باشد اقدامات برخورد را انجام دهند؛
- راه حل‌ها و اقدامات برخورد با ریسک را ایجاد می‌کند؛
- قابل کاربرد در گستره وسیعی از سیستم‌ها، فرآیندها و روش‌های اجرایی است؛
- بررسی آشکار دلایل و عواقب خطای انسانی را ممکن می‌سازد؛
- سابقه‌ای مکتوب از فرآیند ایجاد می‌کند که می‌تواند برای اثبات کوشش لازم به کار رود.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- تحلیلی تفصیلی می‌تواند بسیار زمان گیر و در نتیجه پرهزینه باشد؛
- تحلیل تفصیلی نیازمند سطح بالایی از مستندسازی یا مشخصات سیستم/فرآیند و روش اجرایی است؛
- می‌تواند به جای به چالش طلبیدن مفروضات اساسی روی راه حل‌های تفصیلی متمرکز باشد (با این حال این امر می‌تواند با رویکرد فازی تخفیف یابد)؛
- بحث می‌تواند روی مسائل تفصیلی طراحی متمرکز باشد و نه روی مسائل گسترده تر یا خارجی؛
- با (پیش نویس) طراحی و مقصود طراحی و دامنه ارائه شده به گروه محدود شده است؛
- فرآیند شدیدا متکی به تخصص طراحانی است که ممکن است بی طرف بودن به قدر کافی، برای یافتن مشکلات در طراحی شان، برایشان مشکل باشد.

ب-۶-۷ مدرک مرجع

IEC 61882[1], Hazard and operability studies (HAZOP studies) – Application guide

ب-۷ تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی [۲] HACCP

ب-۷-۱ مرور کلی

تحلیل خطر و نقاط کنترل بحرانی (HACCP) ساختاری برای شناسایی خطرات و اعمال کنترل در تمام قسمت‌های مرتبط یک فرآیند برای محافظت در مقابل خطرات و حفظ قابلیت اطمینان کیفی و ایمنی یک محصول ارائه می‌دهد. مقصود HACCP حصول اطمینان از این است که ریسک‌ها از طریق کنترل‌ها و نه از طریق بررسی محصول نهایی در کل فرآیندها به حداقل رسیده اند.

ب-۷-۲ استفاده

HACCP برای حصول اطمینان از کیفیت غذا برای یک برنامه فضایی ناسا تکوین شد. در حال حاضر مورد استفاده سازمان‌هایی قرار می‌گیرد که در هر مکانی در زنجیره غذایی فعالیت می‌کنند تا ریسک‌های آلودگی فیزیکی، شیمیایی یا زیستی غذا کنترل شوند. همچنین به تولید داروها و دستگاه‌های پزشکی بسط داده شده است. اصل شناسایی مواردی که می‌توانند بر کیفیت محصول اثر بگذارند و تعریف نقاطی در یک فرآیند که پارامترهای بحرانی می‌توانند مورد پایش قرار گیرند و خطرات کنترل شوند، می‌تواند به دیگر سیستم‌های فنی تعمیم داده شود.

۱- استاندارد ملی ایران-آی ای سی ۶۱۸۸۲: ۱۳۸۸، مطالعات خطر و قابلیت بهره‌برداری (مطالعات HAZOP) – راهنمای کاربرد، با استفاده از منبع IEC 61882:2001 موجود می‌باشد.

2 - Hazard analysis and critical control points

ب-۷-۳ ورودی ها

HACCP از یک نمودار جریان پایه یا نمودار فرآیند و اطلاعاتی در مورد خطراتی آغاز می‌شود که ممکن است بر کیفیت، ایمنی یا قابلیت اطمینان محصول یا خروجی فرآیند اثر بگذارند. اطلاعات در مورد خطرات و ریسک‌های آن‌ها و نحوه کنترل آن‌ها خروجی به HACCP است.

ب-۷-۴ فرآیند

HACCP شامل هفت اصل زیر است:

- خطرات و اقدامات پیشگیرانه مربوط به چنین خطراتی را شناسایی می‌کند؛
- نقاطی را در فرآیند تعیین می‌کند که در آن‌ها خطرات می‌توانند کنترل شده یا برطرف شوند (نقاط کنترل بحرانی یا CCPها)؛
- حدود بحرانی مورد نیاز برای کنترل خطرات را ایجاد می‌کند، یعنی هر CCP بایستی درون محدوده پارامترهای خاصی عمل کند تا اطمینان حاصل شود که خطر کنترل می‌شود؛
- حدود بحرانی را برای هر CCP در فواصل زمانی تعریف شده پایش می‌کند؛
- در صورتی که فرآیند خارج از حدود ایجاد شده باشد اقدامات اصلاحی ایجاد می‌کند؛
- روش‌های اجرایی تصدیق را ایجاد می‌کند؛
- حفظ سوابق و روش‌های اجرایی مستندسازی را برای هر گام پیاده سازی می‌کند.

ب-۷-۵ خروجی ها

سوابق مستندسازی شده از جمله کاربرگ تحلیل خطر و طرح HACCP.

کاربرگ تحلیل خطر برای هر گام فرآیند موارد زیر را فهرست می‌کند:

- خطراتی که ممکن است در این گام ایجاد، کنترل یا تشدید شوند؛
- آیا خطر، ریسک قابل توجهی ایجاد می‌کند (بر اساس بررسی عواقب و احتمال از ترکیبی از تجربیات، داده‌ها و تحقیقات فنی)؛
- توجیهی برای اهمیت؛
- اقدامات پیشگیرانه ممکن برای هر خطر؛
- آیا اقدامات پایش یا کنترل را می‌توان در این گام به کار برد (یعنی آیا گام CCP می‌باشد؟).

طرح HACCPروش‌های اجرایی را که قرار است انجام گیرند تا کنترل طراحی، محصول، فرآیند یا روش اجرایی را تامین کنند، معین می‌کند. طرح شامل فهرستی از تمام CCPهاست و هرCCP شامل موارد زیر است:

- حدود بحرانی برای اقدامات پیشگیرانه؛
- پایش و ادامه فعالیت‌های کنترل(از جمله چه پایشی، چگونه و در چه زمانی و توسط چه کسی انجام می‌گیرد)؛
- اقدامات اصلاحی مورد نیاز در صورتی که انحرافاتی از حدود بحرانی کشف شوند؛
- تصدیق و فعالیت‌های نگهداری سوابق.

ب-۷-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت عبارتند از:

- فرآیندی ساختاریافته که شواهدی مستندسازی شده برای کنترل کیفی و همچنین شناسایی و کاهش ریسک‌ها ارائه می‌دهد؛
- تمرکز روی عملی بودن این که چگونه و در کجای یک فرآیند می‌توان از خطرات پیشگیری کرد و آن‌ها را کنترل نمود؛
- کنترل ریسک بهتر در کل فرآیند به جای تکیه بر بررسی محصول نهایی؛
- توانایی شناسایی خطرات اعمال شده از طریق اقدامات انسانی و این که این اقدمات چگونه می‌توانند در زمان معرفی یا بعدها کنترل شوند.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- HACCP مستلزم این است که خطرات شناسایی شوند، ریسک‌هایی که ایجاد می‌کنند تعریف شوند و اهمیت آن‌ها به عنوان ورودی به فرآیند درک شود. کنترل‌های مناسب نیز نیاز است که تعریف شوند. این موارد مورد نیاز هستند تا نقاط کنترل بحرانی و پارامترهای کنترل در طول HACCP شناسایی شوند و ممکن است نیاز باشد با دیگر ابزارها ترکیب شوند تا این امر حاصل شود؛
- انجام اقداماتی هنگامی که پارامترهای کنترل از حدود تعریف شده تجاوز می‌کنند ممکن است سبب از دست دادن تغییرات تدریجی در پارامترهای کنترل شود که به لحاظ آماری اهمیت دارند و از این رو بایستی عملی شوند.

ب-۷-۷ مدرک مرجع

ISO 22000[1], Food safety management systems – Requirements for any organization in the food chain

۱ - استاندارد ملی ایران-ایزو ۲۲۰۰۰: ۱۳۸۶، سیستم های مدیریت ایمنی مواد غذایی-الزامات هر سازمان در زنجیره مواد غذایی با استفاده از منبع ISO 22000:2005 موجود می‌باشد.

ب-۸ ارزیابی سمّی بودن

ب-۸-۱ مرور کلی

ارزیابی ریسک محیطی در اینجا به این منظور به کار می‌رود که فرآیندی را که در ارزیابی ریسک‌های وارد بر گیاهان، حیوانات و انسان‌ها در نتیجه قرار گرفتن در معرض گستره‌ای از خطرات محیطی اجرا می‌شود، پوشش دهد. مدیریت ریسک به معنای گام‌های تصمیم گیری از جمله سنجش ریسک و برخورد با ریسک است.

این روش شامل تحلیل خطر یا منبع آسیب و نحوه تاثیرگذاری آن بر جامعه مورد نظر و مسیرهایی است که خطر از طریق آن‌ها می‌تواند به جامعه مستعد مورد نظر دست یابد. سپس این اطلاعات ترکیب می‌شوند تا برآوردی از میزان احتمالی و ماهیت آسیب ارائه دهند.

ب-۸-۲ استفاده

فرآیند برای ارزیابی ریسک‌های وارده به گیاهان، حیوانات و انسان‌ها در نتیجه قرار گرفتن در معرض خطراتی از قبیل شیمیایی، جانوران میکروسکوپی و دیگر گونه‌ها، به کار می‌رود.

جنبه‌هایی از متدولوژی مانند تحلیل مسیر که راه‌های مختلفی را کاوش می‌کند که از طریق آن‌ها هدفی ممکن است در معرض یک منبع ریسک قرار گیرد قابل وفق دادن هستند و می‌توان از آن‌ها در گستره وسیعی از حوزه‌های ریسک مختلف، خارج از بهداشت انسان و محیط استفاده کرد. این تحلیل همچنین در شناسایی برخوردها برای کاهش ریسک مفید است.

ب-۸-۳ ورودی ها

این روش نیازمند داده‌هایی خوب در مورد ماهیت و ویژگی‌های خطرات، مستعد بودن جامعه(های) مورد نظر و نحوه تعامل این دو است. این داده‌ها معمولاً بر اساس تحقیقاتی هستند که ممکن است پایه آزمایشگاهی داشته یا همه گیری شناختی باشند.

ب-۸-۴ فرآیند

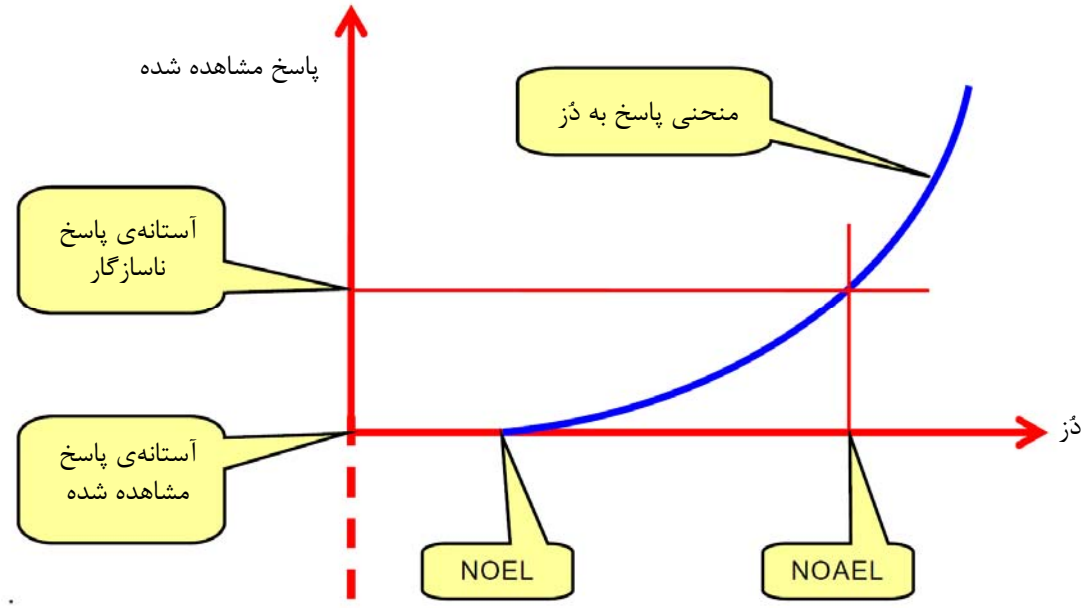
روش اجرایی به این صورت است:

الف) فرمول بندی مشکل – شامل تنظیم موضوع و دامنه ارزیابی از طریق تعریف گستره جامعه‌های مورد نظر و انواع خطرات مورد نظر است؛

ب) شناسایی خطر – شامل شناسایی تمام منابع ممکن آسیب به جامعه مورد نظر از خطرات در دامنه مطالعه است. شناسایی ریسک معمولاً بر دانش تخصصی و مروری بر تحقیقات پیشین تکیه دارد؛

پ) تحلیل خطر – این امر شامل درک خطر و نحوه تعامل آن با هدف است. مثلاً در بررسی قرار گرفتن انسان در معرض اثرات شیمیایی، خطر ممکن است شامل سمیت حاد و مزمن، احتمال آسیب DNA، یا احتمال سرطان یا مشکلات مادرزادی شود. برای هر اثر خطرناک، بزرگی تاثیر (پاسخ) با میزان خطری که

هدف در معرض آن است (اندازه معین) مقایسه می‌شود و در صورت امکان سازوکاری که تاثیر از طریق آن تولید می‌شود، تعیین می‌شود. سطوحی که در آن هیچ تاثیری قابل مشاهده نیست (NOEL[1]) و هیچ تاثیر نامطلوبی قابل مشاهده نیست (NOAEL[2]) یادآوری می‌شوند. گاهی این موارد به عنوان معیارهایی برای پذیرش ریسک به کار می‌روند.



شکل ب-۱ منحنی پاسخ به دُز

برای در معرض قرار گرفتن شیمیایی، نتایج آزمون برای به دست آوردن منحنی‌های پاسخ به مقدار معین مانند مورد نشان داده شده به طور خلاصه در شکل ب-۱ به کار می‌روند. این موارد معمولاً از آزمون‌هایی روی حیوانات یا سیستم‌های آزمایشی مانند بافت‌ها یا سلول‌های پرورشی به دست می‌آیند.

تاثیرات دیگر خطرات مانند جانوران میکروسکوپی یا گونه‌های معرفی شده ممکن است از داده‌های میدانی یا مطالعات همه‌گیری شناختی[3] تعیین شوند. ماهیت تعامل بیماری‌ها یا حیوانات خانگی با هدف تعیین می‌شود و احتمال سطحی خاص از آسیب از قرار گرفتن در معرض خطری خاص برآورد می‌شود.

ت) تحلیل در معرض قرار گرفتن – این گام بررسی می‌کند که چگونه و چه مقدار از ماده‌ای خطرناک یا تفاله آن ممکن است به یک جامعه مستعد مورد نظر دست یابد. اغلب شامل تحلیل مسیری است که راه‌های مختلفی را بررسی می‌کند که خطر ممکن است در پیش گیرد و همچنین موانعی که ممکن است مانع از

1- No Observable Effect

2- No Observable Adverse Effect

3- Epidemiological studies

رسیدن آن به دستیابی به هدف شوند و عواملی که ممکن است بر سطح در معرض قرار گرفتن اثر بگذارند. مثلاً در بررسی ریسک سمپاشی شیمیایی، تحلیل در معرض قرار گرفتن بررسی می‌کند که چه مقدار ماده شیمیایی افشانده شده، این کار به چه صورت و تحت چه وضعیت‌هایی انجام گرفته، آیا انسان‌ها یا حیوانات در معرض مستقیم آن قرار گرفته اند، چه مقدار از آن روی گیاهان باقی می‌ماند، چه اتفاقی برای آفت کش-هایی می‌افتد که به زمین می‌رسند، آیا ممکن است در حیوانات متراکم شوند یا وارد آب‌های زیرزمینی شوند. در ایمنی زیستی، تحلیل مسیر ممکن است در نظر بگیرد که چگونه آفت‌هایی که وارد کشور می‌شوند ممکن است وارد محیط شوند، مستقر شده و منتشر شوند.

ث) تعیین ویژگی‌های ریسک – در این گام، اطلاعات تحلیل خطر و تحلیل در معرض قرار گرفتن کنار هم قرار می‌گیرند تا احتمالات عواقب خاص هنگام ترکیب تاثیرات تمام مسیرها برآورد شوند. هنگامی که تعداد زیادی خطر یا مسیر موجود است، یک غربال گری اولیه می‌تواند انجام گیرد و یک تحلیل تفصیلی خطر و در معرض قرار گرفتن و تعیین ویژگی‌های ریسک در سناریوهای ریسک بالاتر انجام می‌گیرد.

ب-۸-۵ خروجی ها

خروجی معمولاً نشانه‌ای از سطح ریسک از قرار گرفتن هدفی خاص در معرض خطری خاص در فضای مورد نظر است. ریسک ممکن است به صورت کمّی، نیمه کمّی یا کیفی بیان شود. مثلاً ریسک سرطان اغلب به صورت کمّی به عنوان احتمال این که فردی در دوره زمانی مشخصی از بودن در معرض یک آلودگی، به سرطان مبتلا شود، بیان می‌شود. تحلیل نیمه کمّی ممکن است برای به دست آوردن یک شاخص ریسک برای محدودیت یا آفتی خاص به کار رود و خروجی کیفی ممکن است سطحی از ریسک (مثلاً بالا، متوسط، پایین) یا توصیفی با داده‌های عملی تاثیرات احتمالی باشد.

ب-۸-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

یکی از نقاط قوت این تحلیل این است که درکی بسیار تفصیلی از ماهیت مشکل و عواملی که ریسک را افزایش می‌دهند، فراهم می‌سازد.

تحلیل مسیر، به طور کلی برای تمام حوزه‌های ریسک، ابزاری مفید است و شناسایی نحوه و امکان بهبود احتمالی کنترل‌ها یا معرفی کنترل‌های جدید را ممکن می‌سازد.

با این حال این تکنیک نیازمند داده‌هایی خوب است که اغلب در دسترس نیستند یا سطحی بالا از عدم قطعیت دارند. مثلاً منحنی‌های پاسخ مقدار معین که از قرار دادن حیوانات در معرض سطوحی بالا از خطر به دست آمده اند، بایستی برون یابی شوند تا تاثیرات سطوح بسیار پایین محدودیت انسانی را برآورد کنند و این کار از طریق چندین مدل انجام می‌گیرد. هنگامی که هدف محیط و نه انسان‌ها است و خطر، شیمیایی نیست، داده‌هایی که ارتباطی مستقیم با وضعیت‌های خاص مطالعه دارند، ممکن است محدود شوند.

ب-۹ تکنیک ساختاریافته «اگر ..... چه؟» (SWIFT)

ب-۹-۱ مرور کلی

SWIFT در اصل به عنوان جایگزینی ساده تر برای HAZOP تکوین شد. SWIFT مطالعه‌ای سیستماتیک و گروهی است که از مجموعه‌ای از واژگان یا عبارات محرک بهره می‌گیرد. تسهیل‌گر از این واژگان و عبارات در کارگاهی استفاده می‌کند تا شرکت کنندگان را به شناسایی ریسک‌ها برانگیزد. تسهیل گر و گروه از عبارات استاندارد نوع «اگر ..... چه؟» همراه با محرک‌ها استفاده می‌کند تا بررسی کند که چگونه یک سیستم، قلم کارخانه، سازمان یا روش اجرایی تحت تاثیر انحرافاتی از بهره برداری‌ها و رفتار عادی قرار می‌گیرند. SWIFT معمولاً در سطح سیستم‌ها با سطح پایین تری از تفصیل نسبت به HAZOP به کار می‌رود.

ب-۹-۲ استفاده

SWIFT در اصل برای مطالعه خطرات کارخانه‌های شیمیایی و پتروشیمیایی طراحی شده بود، اما در حال حاضر به طور کلی کاربرد گسترده‌ای در سیستم‌ها، اقلام کارخانه ای، روش‌های اجرایی و سازمان‌ها دارد. به ویژه برای بررسی عواقب تغییرات و ریسک‌هایی که به موجب آن‌ها تغییر یافته یا ایجاد می‌شوند، به کار می-رود.

ب-۹-۳ ورودی ها

سیستم، روش اجرایی، قلم کارخانه‌ای و/یا تغییر باید پیش از آغاز مطالعه به طور دقیق تعریف شود. فضای خارجی و نیز داخلی از طریق مصاحبه و مطالعه اسناد، طرح‌ها و ترسیم‌ها توسط تسهیل گر ایجاد می‌شوند. معمولاً قلم، موقعیت یا سیستم مورد مطالعه به گره‌ها یا عناصر کلیدی تقسیم می‌شود تا فرآیند تحلیل را میسر سازد، اما این کار به ندرت در سطح تعریف مورد نیاز برای HAZOP انجام می‌گیرد.

یک ورودی کلیدی دیگر تخصص و تجربه موجود در گروه مطالعه است که بایستی به دقت انتخاب شود. در صورت امکان بایستی تمام علاقمندان و همچنین افرادی که از تجربه در زمینه اقلام، سیستم‌ها، تغییرات یا موقعیت‌ها برخوردارند، نمایش داده شوند.

ب-۹-۴ فرآیند

فرآیند کلی به صورت زیر است:

الف) پیش از آن که مطالعه آغاز شود، تسهیل گر فهرست مناسب محرکی از واژگان یا عباراتی آماده می‌کند که ممکن است بر اساس مجموعه‌ای استاندارد باشد یا برای ممکن ساختن بازنگری جامعی از خطرات یا ریسک‌ها ایجاد شود؛

ب) در کارگاه فضای خارجی و داخلی قلم، سیستم، تغییر یا موقعیت دامنه مطالعه مورد بحث و توافق قرار می‌گیرند؛

پ) تسهیل‌گران شرکت کنندگان می‌خواهد مسائل زیر را مطرح نموده و در مورد آن‌ها بحث کنند:

- ریسک‌ها و خطرات شناخته شده؛

- تجربه و رویدادهای قبلی؛

- الزامات و محدودیت‌های نظارتی؛

ت) بحث از طریق ایجاد پرسشی با استفاده از یک عبارت «اگر .... چه؟» و واژه یا موضوع محرک میسر می-شود. عبارات «اگر ..... چه؟» مورد استفاده عبارتند از: «چه می‌شود اگر...»، «چه اتفاقی می‌افتد اگر...»، «آیا ممکن است فردی یا چیزی...»، «آیا هرگز فردی یا چیزی...». مقصود برانگیختن گروه مطالعه به کاوش در سناریوهای بالقوه و دلایل و عواقب و پیامدآن‌ها است؛

ث) ریسک‌ها خلاصه می‌شوند و گروه، کنترل‌ها را در جای خود بررسی می‌کند؛

ج) توصیف ریسک، دلایل آن، و عواقب و کنترل‌های آن توسط گروه تایید و ثبت می‌شوند؛

چ) گروه در نظر می‌گیرد که آیا کنترل‌ها کافی و اثربخش هستند و در مورد بیان اثربخشی کنترل ریسک به توافق می‌رسد. اگر رضایت بخش نباشد، گروه تکالیف برخورد با ریسک را بیشتر بررسی می‌کند و کنترل‌های بالقوه تعریف می‌شوند؛

ح) در طول این بحث پرسش‌های «اگر ..... چه؟» بیشتری مطرح می‌شوند تا ریسک‌های بیشتری شناسایی شوند؛

خ) تسهیل گر از فهرست محرک استفاده می‌کند تا بحث را پایش کند و مسائل و سناریوهای تکمیلی را برای بحث به گروه پیشنهاد کند؛

د) استفاده از روش ارزیابی ریسک کیفی یا نیمه کمّی برای درجه بندی اقدامات ایجاد شده از نظر اولویت، طبیعی است. ارزیابی ریسک معمولاً با به حساب آوردن کنترل‌های موجود و اثربخشی آن‌ها انجام می‌گیرد.

ب-۹-۵ خروجی ها

خروجی‌ها شامل ثبت ریسک با اقدامات یا تکالیف درجه بندی شده با ریسک هستند. سپس این فعالیت‌ها می‌توانند مبنایی برای طرح برخورد باشند.

ب-۹-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت SWIFT:

- به طور گسترده‌ای قابل کاربرد در تمام اشکال کارخانه یا سیستم فیزیکی، موقعیت یا اوضاع و احوال، سازمان یا فعالیت است؛
- به حداقل آماده سازی توسط گروه نیاز دارد؛

- نسبتاً سریع است و خطرات و ریسک‌های اصلی سریعاً در جلسه کارگاهی ظاهر می‌شوند؛
- مطالعه در جهت سیستم است و به شرکت کنندگان امکان بررسی پاسخ سیستم به انحرافات را می-دهد و نه بررسی صرف عواقب خرابی جزء؛
- می توان آن را برای شناسایی فرصت‌ها برای بهبود فرآیندها و سیستم‌ها به کار برد و معمولاً می‌تواند برای شناسایی اقداماتی به کار رود که منجر به احتمالات موفقیت آن‌ها شده و این احتمالات را افزایش می‌دهند؛
- درگیری افرادی که حسابرس کنترل‌های موجود و اقدامات برخورد با ریسک بیشتر هستند در کارگاه، مسئولیت آن‌ها را افزایش می‌دهد؛
- با کمی تلاش بیشتر ثبت ریسک و طرح برخورد با ریسکی ایجاد می‌کند؛
- اغلب از شکل کیفی یا نیمه کمّی درجه بندی ریسک برای ارزیابی ریسک و اولویت دادن توجه به اقدامات حاصل استفاده می‌شود، در حالی که SWIFT را می‌توان برای شناسایی ریسک‌ها و خطراتی مورد استفاده قرار داد که می‌توان آن‌ها را در مطالعه‌ای کمّی نیز پیش برد.

محدودیت‌های SWIFT:

- برای کاربران، این روش نیاز به تسهیل گر با تجربه و توانمند دارد؛
- نیاز به آماده سازی دقیق است تا زمان کارگروه به هدر نرود؛
- اگر گروه کارگاه، پایه تجربی با گستردگی کافی نداشته باشد یا اگر سیستم محرک جامع نباشد، برخی ریسک‌ها یا خطرات ممکن است شناسایی نشوند؛
- کاربرد سطح بالای تکنیک ممکن است دلایل پیچیده، تفصیلی یا همبسته را آشکار نسازد.

ب-۱۰ تحلیل سناریو

ب-۱۰-۱ مرور کلی

تحلیل سناریو نامی است که به تکوین مدل‌های توصیفی در مورد آینده، داده شده است. می‌توان از آن برای شناسایی ریسک‌ها از طریق در نظر گرفتن تکوین‌های ممکن در آینده و بررسی مفاهیم آن‌ها استفاده کرد. مجموعه‌هایی از سناریوها که مثلاً "بهترین حالت"، "بدترین حالت" "حالت مورد انتظار" را منعکس می-سازند، ممکن است برای تحلیل عواقب بالقوه و احتمالات آن‌ها برای هر سناریو به عنوان شکلی از تحلیل حساسیت هنگام تحلیل ریسک، به کار روند.

قدرت تحلیل سناریو با بررسی تغییرات اصلی در زمینه تکنولوژی در ۵۰ سال گذشته، اولویت‌های مشتریان، نگرش‌های اجتماعی و غیره، شرح داده می‌شود. تحلیل سناریو نمی‌تواند احتمالات چنین تغییراتی را پیش بینی کند، اما می‌تواند عواقب را در نظر بگیرد و به سازمان‌ها کمک کند نقاط قوت و قابلیت بازگشت مورد نیاز برای وفق دادن با تغییرات قابل پیش بینی را تکوین کنند.

ب-۱۰-۲ استفاده

تحلیل سناریو می‌تواند برای کمک به اتخاذ تصمیمات خط مشی و طراحی راهبردهای آینده و همچنین بررسی فعالیت‌های موجود به کار رود. می‌تواند در هر سه جزء ارزیابی ریسک نقش داشته باشد. برای شناسایی و تحلیل، مجموعه‌هایی از سناریوها که مثلاً بهترین حالت، بدترین حالت و حالت مورد انتظار را منعکس می‌سازند، می‌توانند برای شناسایی آنچه ممکن است تحت اوضاع و احوال خاصی رخ دهد به کار روند و عواقب بالقوه و احتمالات آن‌ها را برای هر سناریو تحلیل کنند.

تحلیل سناریو ممکن است برای پیش بینی نحوه تکوین تهدیدها و فرصت‌ها به کار رود و ممکن است برای تمام انواع ریسک با چارچوب‌های زمانی کوتاه مدت و نیز بلند مدت مورد استفاده قرار گیرد. با چارچوب‌های زمانی کوتاه و داده‌های خوب، سناریوهای محتمل ممکن است از حال، برون یابی شوند. برای چارچوب‌های زمانی طولانی تر یا داده‌های ضعیف، تحلیل سناریو، تخیلی تر می‌شود و ممکن است تحلیل آینده نام گیرد.

تحلیل سناریو می‌تواند در جایی که تفاوت‌های توزیعی شدیدی بین برآمدهای مثبت و منفی در فضا، زمان و گروه‌های جامعه یا سازمانی وجود دارند، مفید باشد.

ب-۱۰-۳ ورودی ها

پیش نیاز تحلیل سناریو گروهی از افراد است که در میان خود به توافقی در مورد ماهیت تغییرات مرتبط (مثلاً پیشرفت‌های ممکن در تکنولوژی) دست یافته اند و از تخیل لازم برای تفکر در مورد آینده بدون آن که ضرورتا از گذشته برون یابی کنند، برخوردارند. دسترسی به تحقیقات و داده‌های پیشین در مورد تغییراتی که از قبل رخ داده اند، نیز مفید است.

ب-۱۰-۴ فرآیند

ساختار برای تحلیل سناریو ممکن است رسمی یا غیررسمی باشد.

پس از ایجاد گروه و کانال‌های تبادل اطلاعات مرتبط و تعریف فضای مشکل و مسائلی که قرار است در نظر گرفته شوند، گام بعدی شناسایی ماهیت تغییراتی است که ممکن است به وقوع بپیوندند. این گام نیازمند تحقیق در مورد روندهای اصلی و زمان بندی محتمل تغییرات در روندها و همچنین تفکر تخیلی در مورد آینده است.

تغییراتی که قرار است در نظر گرفته شوند عبارتند از:

- تغییرات خارجی (مانند تغییرات تکنولوژی)؛
- تصمیماتی که لازم است در آینده نزدیک اخذ شوند، اما ممکن است برآمدهای مختلفی داشته باشند؛
- نیازهای علاقمندان و نحوه تغییر احتمالی آن‌ها؛

- تغییرات در محیط کلان (نظارتی، آمارگیری نفوس و غیره). برخی اجتناب ناپذیر و برخی غیرقطعی خواهند بود.

گاهی اوقات، تغییر ممکن است به علت عواقب ریسک دیگری باشد. مثلاً ریسک تغییر آب و هوا منجر به تغییراتی در تقاضای مشتری مرتبط با مسافت حمل غذا می‌شود. این امر بر این تاثیر می‌گذارد که کدام مواد غذایی را می‌توان با سوددهی صادر کرد و همچنین کدام مواد غذایی را می‌توان در محل پرورش داد.

عوامل یا روندهای محلی و کلان در حال حاضر می‌توانند فهرست شده و از نظر ۱) اهمیت، ۲) عدم قطعیت درجه بندی شوند. توجه ویژه‌ای به عواملی می‌شود که بیشترین اهمیت و بیشترین عدم قطعیت را دارند. عوامل کلیدی در مقابل یکدیگر ترسیم می‌شوند تا حوزه‌هایی را نشان دهند که در آن‌ها می‌توان سناریوها را تکوین نمود.

مجموعه‌ای از سناریوها پیشنهاد می‌شوند و هر یک روی تغییری موجه در پارامترها تمرکز دارد.

سپس "داستانی" برای هر سناریو نوشته می‌شود که بیان می‌کند چگونه می‌توانید در جهت سناریوی مورد نظر حرکت کنید. داستان‌ها ممکن است شامل جزئیات محتمل شوند که بر ارزش سناریوها می‌افزایند.

سپس می‌توان از سناریوها برای آزمون یا سنجش پرسش اصلی استفاده کرد. آزمون، هر عامل مهم اما قابل پیش بینی را به حساب می‌آورد (مثلاً استفاده از الگو ها) و سپس کاوش می‌کند که خط مشی (فعالیت) در سناریوی جدید تا چه حد موفقیت آمیز خواهد بود و برآمدها را با استفاده از پرسش‌های «اگر ..... چه؟» بر اساس مفروضات مدل از پیش می‌آزماید.

هنگامی که پرسش یا طرح پیشنهادی با توجه به هر سناریو مورد سنجش قرار گرفت، ممکن است واضح باشد که نیاز است تعدیل شود تا قوی تر شده و ریسک کمتری داشته باشد. همچنین بایستی شناسایی برخی نشانه‌های اصلی ممکن باشد که نشان می‌دهند تغییر در چه زمانی رخ می‌دهد. پایش و پاسخ گویی به نشانه‌های اصلی می‌تواند فرصتی برای تغییر در راهبردهای طراحی شده فراهم سازد.

از آنجا که سناریوها تنها "تکه هایی" از آینده محتمل تعریف شده اند، حصول اطمینان از به حساب آوردن احتمال وقوع پیامدی (سناریویی) خاص، یعنی اتخاذ یک چارچوب ریسک، مهم است. مثلاً در جایی که از سناریوهای بهترین حالت، بدترین حالت و حالت مورد انتظار استفاده می‌شود، بایستی تلاش صورت گیرد تا کیفیت احتمال وقوع هر سناریو تعیین شده یا این احتمال بیان شود.

ب-۱۰-۵ خروجی ها

ممکن است هیچ سناریوی بهترینی موجود نباشد، اما بایستی با ادراکی روشن تر از گستره گزینه‌ها و نحوه تعدیل راه کار انتخاب شده در حین حرکت نشانه‌ها، کار را به اتمام رساند.

ب-۱۰-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

تحلیل سناریو گستره‌ای از آینده‌های ممکن را به حساب می‌آورد که ممکن است نسبت به رویکرد سنتی تکیه بر پیش بینی‌های بالا-متوسط-پایین اولویت داشته باشد. این پیش بینی‌ها از طریق استفاده از داده‌های تاریخچه‌ای فرض می‌کنند که رخدادهای آینده احتمالا روندهای گذشته را دنبال می‌کنند. این امر در موقعیت‌هایی اهمیت دارد که دانش فعلی کمی موجود است تا پیش بینی‌ها بر اساس آن انجام گیرند یا ریسک‌ها در آینده درازمدت تری در نظر گرفته می‌شوند.

با این حال این نقطه قوت یک ضعف مرتبط دارد: هنگامی که عدم قطعیت بالاست، برخی سناریوها ممکن است غیرواقعی باشند.

مشکلات اصلی در استفاده از تحلیل سناریو مربوط به آمادگی داده‌ها و توانایی تحلیل و تصمیم گیرندگان در تکوین سناریوهای واقعی هستند که قابل جوابگویی به برآمدهای[1] ممکن هستند.

خطرات استفاده از تحلیل سناریو به عنوان ابزار تصمیم گیری عبارتند از این که سناریوهای به کار رفته ممکن است بنیادی شایسته نداشته باشند؛ داده‌ها ممکن است تفکری باشند و نتایج غیرواقعی ممکن است، غیرواقعی تشخیص داده نشوند.

ب-۱۱ تحلیل پیامد بر کسب و کار[2] (BIA)

ب-۱۱-۱ مرور کلی

تحلیل پیامد بر کسب و کار که ارزیابی پیامد بر کسب و کار نیز نامیده می‌شود، تحلیل می‌کند که چگونه ریسک‌های مخل و مخرب کلیدی می‌توانند بر بهره برداری‌های سازمان اثر بگذارند و توانمندی‌هایی را شناسایی و کمّی سازی می‌کند که برای مدیریت آن مورد نیاز هستند. BIA به ویژه درکی مورد توافق از موارد زیر ارائه می‌دهد:

- شناسایی و خطیر بودن فرآیندهای کسب و کار کلیدی، وظایف و منابع مربوطه و وابستگی‌های کلیدی که برای سازمان وجود دارند؛
- نحوه تاثیرگذاری رخدادهای در هم تنیده بر ظرفیت و توانمندی دستیابی به اهداف کسب و کار بحرانی؛
- ظرفیت و توانمندی مورد نیاز برای مدیریت پیامد قطع و بازیابی سازمان در سطوح مورد توافق بهره برداری.

1- Outcome

2- Business impact analysis

ب-۱۱-۲ استفاده

BIA برای تعیین خطیر بودن و چارچوب‌های زمانی بازیابی فرآیندها و منابع مربوطه (افراد، تجهیزات، تکنولوژی اطلاعات) به کار می‌رود تا از دستیابی پیوسته به اهداف اطمینان حاصل شود. به علاوه BIA در تعیین وابستگی‌ها و روابط بین فرآیندها، طرفین داخلی و خارجی و هر پیوند زنجیره تامین، کمک کننده است.

ب-۱۱-۳ ورودی ها

ورودی‌ها عبارتند از:

- گروهی برای انجام تحلیل و تکوین طرح؛
- اطلاعات در مورد اهداف، محیط، بهره برداری‌ها و وابستگی‌های سازمان؛
- جزئیاتی در مورد فعالیت‌ها و بهره برداری‌های سازمان، از جمله فرآیندها، منابع پشتیبانی، روابط با سازمان‌ها، توافق‌های برون سپاری، علاقمندان؛
- عواقب مالی و بهره برداری از دست دادن فرآیندهای بحرانی؛
- پرسشنامه آماده؛
- فهرستی از مصاحبه شوندگان از حوزه‌های مرتبط سازمان و/یا علاقمندانی که طرف قرارداد هستند.

ب-۱۱-۴ فرآیند

BIA را می‌توان با استفاده از پرسشنامه، مصاحبه، کارگاه ساختاریافته یا ترکیب‌هایی از این سه برای کسب درکی از فرآیندهای بحرانی، تاثیرات از دست دادن آن فرآیندها و چارچوب‌های زمانی بازیابی مورد نیاز و منابع پشتیبانی، انجام داد.

گام‌های کلیدی عبارتند از:

- بر اساس ارزیابی ریسک و آسیب پذیری، تایید فرآیندهای کلیدی و خروجی‌های سازمان برای تعیین خطیر بودن فرآیندها؛
- تعیین عواقب اختلال روی فرآیندهای بحرانی شناسایی شده از جنبه‌ی مالی و/یا بهره برداری در دوره‌های تعریف شده؛
- شناسایی وابستگی‌ها با علاقمندان کلیدی داخلی و خارجی. این شناسایی ممکن است شامل ترسیم ماهیت وابستگی‌ها از طریق زنجیره تامین باشد؛
- تعیین منابع در دسترس فعلی و سطح ضروری منابع مورد نیاز برای ادامه بهره برداری در حداقل سطح قابل قبول پس از اختلال؛

- شناسایی راه‌های موقت جایگزین و فرآیندهایی که در حال حاضر مورد استفاده هستند یا فرآیند-هایی که تکوین آن‌ها طرح ریزی شده‌اند. راه‌های موقت جایگزین و فرآیندها ممکن است نیاز باشد در جایی که منابع یا توانمندی غیر قابل دسترس بوده یا درطول اختلال، ناکافی هستند، تکوین شوند؛
- تعیین حداکثر زمان قابل قبول خروج (MAO)[1] برای هر فرآیند بر اساس عواقب شناسایی شده و عوامل موفقیت بحرانی برای وظیفه. MAO نمایش دهنده حداکثر دوره زمانی است که سازمان می-تواند از دست دادن توانمندی را تحمل کند؛
- تعیین هدف (های) زمان بازیابی (RTO)[2] برای هر یک از تجهیزات تخصصی یا تکنولوژی اطلاعات. RTO نمایش دهنده زمانی است که در آن سازمان قصد دارد تجهیزات تخصصی یا توانمندی تکنولوژی اطلاعات را بازیابی کند؛
- تایید سطح فعلی آمادگی فرآیندهای بحرانی برای مدیریت قطع. این تایید ممکن است شامل سنجش سطح ردوندانسی درون فرآیند (مثلاً تجهیزات یدکی) یا وجود تامین کنندگان جایگزین باشد.

ب-۱۱-۵ خروجی ها

خروجی‌ها عبارتند از:

- فهرست اولویت از فرآیندهای بحرانی و وابستگی‌های مربوطه؛
- پیامدهای مالی و بهره برداری مستندسازی شده بنا به از دست دادن فرآیندهای بحرانی؛
- منابع پشتیبانی مورد نیاز برای فرآیندهای بحرانی شناسایی شده؛
- چارچوب‌های زمانی خروج برای فرآیند بحرانی و چارچوب‌های زمانی بازیابی تکنولوژی اطلاعات مربوطه.

ب-۱۱-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت BIA عبارتند از:

- درکی از فرآیندهای بحرانی که توانایی ادامه دستیابی به اهداف بیان شده سازمان‌ها را برای آن‌ها فراهم می‌سازند؛
- درکی از منابع مورد نیاز؛
- فرصتی برای تعریف مجدد فرآیند بهره برداری سازمان برای کمک در بازگشت پذیری سازمان.

1- Maximum acceptable outage

2- Recovery time objective(s)

محدودیت‌ها عبارتند از:

- عدم اطلاع شرکت کنندگان دخیل در کامل کردن پرسشنامه‌ها، انجام مصاحبه‌ها یا برگزاری کارگاه-ها؛
- پویایی گروه ممکن است بر تحلیل کامل فرآیندی بحرانی اثر بگذارد؛
- انتظارات ساده انگارانه یا بیش از حد خوش بینانه از الزامات بازیابی؛
- مشکل در کسب سطحی شایسته از درک بهره برداری‌ها و فعالیت‌های سازمان.

ب-۱۲ تحلیل علت ریشه‌ای[1] (RCA)

ب-۱۲-۱ مرور کلی

تحلیل ضرر و زیانی بزرگ برای ممانعت از وقوع مجدد آن معمولاً تحلیل علت ریشه‌ای (RCA)، تحلیل وقوع خرابی علت ریشه‌ای[2] (RCFA) یا تحلیل زیان نام می‌گیرد. RCA روی از دست دادن دارایی‌ها به علت انواع مختلف وقوع خرابی متمرکز است، در حالی که تحلیل زیان بیشتر مربوط به زیان‌های مالی یا اقتصادی به علت عوامل خارجی یا فجایع است. این تحلیل تلاش می‌کند، به جای این که تنها به نشانه‌های واضح فوری بپردازد، علل ریشه‌ای یا اصلی را شناسایی کند. اقدام اصلاحی ممکن است همیشه کاملاً اثربخش نباشد و ممکن است نیاز به بهبود مستمر باشد. RCA اغلب در سنجش زیان اصلی به کار می‌رود اما می‌توان آن را برای تحلیل زیان‌ها بر مبنایی جامع‌تر نیز به کار برد تا تعیین شود در چه نقاطی بهبود حاصل می‌شود.

ب-۱۲-۲ استفاده

RCA در فضاهای مختلفی با حوزه‌های گسترده استفاده زیر به کار می‌رود:

- RCA بر اساس ایمنی برای بررسی‌های سوانح و سلامت و ایمنی شغلی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛
- تحلیل وقوع خرابی در سیستم‌های تکنولوژی مربوط به قابلیت اطمینان و نگهداری به کار می‌رود؛
- RCA مبتنی بر تولید در میدان کنترل کیفی برای تولید صنعتی به کار می‌رود؛
- RCA بر اساس فرآیند روی فرآیندهای کسب و کار تمرکز دارد؛
- RCA بر اساس سیستم به عنوان ترکیبی از حوزه‌های پیشین، تکوین شده تا به سیستم‌هایی پیچیده با کاربرد در مدیریت تغییر، مدیریت ریسک و تحلیل سیستم‌ها بپردازد.

1- Root cause analysis

2- Root Cause Failure Analysis

ب-۱۲-۳ ورودی‌ها

ورودی اولیه به RCA تمامی شواهدی است که از وقوع خرابی یا زیان جمع آوری شده است. داده‌هایی از دیگر وقوع خرابی‌های مشابه نیز ممکن است در تحلیل در نظر گرفته شوند. ورودی‌های دیگر ممکن است نتیجه‌هایی باشند که برای آزمون فرض خاص انجام می‌گیرند.

ب-۱۲-۴ فرآیند

هنگامی که نیاز به RCA شناسایی می‌شود، گروهی از متخصصین برای انجام تحلیل و توصیه تعیین می-شوند. نوع تخصص بیشتر بسته به تخصص خاص مورد نیاز برای تحلیل وقوع خرابی خواهد بود.

گرچه می‌توان از روش‌های مختلفی برای اجرای تحلیل استفاده کرد، گام‌های اساسی در انجام RCA مشابه هستند و عبارتند از:

- تشکیل گروه؛
- تعیین دامنه کاربرد و اهداف RCA؛
- جمع آوری داده‌ها و شواهد از وقوع خرابی یا زیان؛
- اجرای تحلیلی ساختاریافته برای تعیین علت ریشه ای؛
- تکوین راه حل‌ها و توصیه‌ها؛
- تصدیق موفقیت توصیه‌های پیاده سازی شده.

تکنیک‌های تحلیل ساختاریافته ممکن است شامل یکی از موارد زیر باشند:

- تکنیک "۵ چرا"، یعنی پرسیدن مکرر چرا؟ برای از میان برداشتن لایه‌های علل اصلی و علل فرعی؛
- تحلیل مُد وقوع خرابی و تاثیر؛
- تحلیل درخت خرابی؛
- نمودارهای استخوان ماهی یا ایشیکاوا؛
- تحلیل پارتو؛
- نگاشت علت ریشه ای.

سنجش علل اغلب در ابتدا با علل قابل مشاهده آغاز می‌شود و در جهت علل مربوط به انسان و در نهایت علل زیرین مدیریتی یا اساسی پیشروی می‌کند. عوامل علّی را باید بتوان با طرفین دخیل کنترل یا حذف نمود تا اقدام اصلاحی اثربخش و ارزشمند باشد.

ب-۱۲-۵ خروجی ها

خروجی‌ها از RCA عبارتند از:

- مستندسازی داده‌ها و شواهد جمع آوری شده؛
- فرض‌های در نظر گرفته شده؛
- نتیجه گیری در مورد محتمل ترین علل ریشه برای وقوع خرابی یا زیان؛
- توصیه‌هایی برای اقدام اصلاحی.

ب-۱۲-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت عبارتند از:

- مشارکت متخصصین مرتبط که در محیط گروهی کار می‌کنند؛
- تحلیل ساختاریافته؛
- در نظر گرفتن تمام فرض‌های محتمل؛
- مستندسازی نتایج؛
- نیاز به تهیه توصیه‌های نهایی.

محدودیت‌های RCA عبارتند از:

- متخصصین مورد نیاز ممکن است در دسترس نباشند؛
- شواهد بحرانی ممکن است در وقوع خرابی نابود شده یا در طول تصفیه برداشته شده باشد؛
- ممکن است به گروه زمان یا منابع کافی برای سنجش کامل موقعیت داده نشده باشد؛
- ممکن است پیاده سازی مناسب توصیه‌ها ممکن نباشد.

ب-۱۳ تحلیل مُدهای وقوع خرابی و تاثیرات (FMEA) و تحلیل مُدهای وقوع خرابی و تاثیرات و خطیر بودن (FMECA)

ب-۱۳-۱ مرور کلی

تحلیل مُدهای وقوع خرابی و تاثیرات (FMEA)، تکنیکی است برای شناسایی نحوه عدم موفقیت اجزاء، سیستم‌ها یا فرآیندها در انجام مقصود طراحی شان.

FMEA موارد زیر را شناسایی می‌کند:

- تمام مُدهای وقوع خرابی بالقوه قسمت‌های مختلف سیستم (مد وقوع خرابی چیزی است که عدم موفقیت آن یا عملکرد نادرست آن مشاهده می‌شود)؛

- تاثیراتی که این وقوع خرابی‌ها ممکن است روی سیستم داشته باشند؛
- سازوکارهای وقوع خرابی؛
- نحوه اجتناب از وقوع خرابی‌ها و/یا تخفیف تاثیرات وقوع خرابی‌ها بر سیستم.

FMECA، FMEA را بسط می‌دهد تا هر مُد خرابی شناسایی شده طبق اهمیت یا خطیر بودنش درجه بندی شود.

این تحلیل خطیر بودن معمولاً کیفی یا نیمه کمّی است اما ممکن است با استفاده از نرخ‌های وقوع خرابی حقیقی کمّی شود.

ب-۱۳-۲ استفاده

FMEA کاربردهای متعددی دارد: FMEA طراحی (یا محصول) که برای اجزاء و محصولات به کار می‌رود، FMEA سیستم که برای سیستم‌ها به کار می‌رود، FMEA فرآیند که برای فرآیندهای تولید و مونتاژ به کار می‌رود، FMEA خدمات و FMEA نرم افزار.

FMEA/ FMECA ممکن است در طول طراحی، تولید یا بهره برداری سیستمی فیزیکی به کار روند.

با این حال برای بهبود قابلیت اعتماد، معمولاً تغییرات در مرحله طراحی آسان تر پیاده سازی می‌شوند.
FMEA و FMECA همچنین ممکن است در فرآیندها و روش‌های اجرایی به کار رود. مثلاً برای شناسایی قابلیت خطای پزشکی در سیستم‌های بهداشت و وقوع خرابی‌ها در روش‌های اجرایی نگهداری به کار می‌رود.

FMEA/ FMECA را می‌توان برای موارد زیر به کار برد:

- کمک به انتخاب گزینه‌های طراحی با قابلیت اطمینان بالا؛
- حصول اطمینان از این که تمام مُدهای وقوع خرابی سیستم‌ها و فرآیندها و تاثیرات آن‌ها بر موفقیت بهره برداری در نظر گرفته شده اند؛
- شناسایی مُدهای خطای انسانی و تاثیرات؛
- ارائه مبنایی برای طراحی آزمون و نگهداری سیستم‌های فیزیکی؛
- بهبود طراحی روش‌های اجرایی و فرآیندها؛
- ارائه اطلاعات کیفی یا کمّی برای تکنیک‌های تحلیل از جمله تحلیل درخت خرابی.

FMEA و FMECA می‌توانند ورودی به دیگر تکنیک‌های تحلیل مانند تحلیل درخت خرابی در سطح کیفی یا کمّی ارائه دهند.

ب-۱۳-۳ ورودی ها

FMEA و FMECA به اطلاعاتی در مورد عناصر سیستم با تفصیل کافی نیاز دارند تا نحوه وقوع خرابی هر عنصر را به صورت معنی دار تحلیل کنند. برای FMEA طراحی تفصیلی، عنصر ممکن است در سطح جزء منفرد تفصیلی باشد، در حالی که برای FMEA سیستم‌های سطح بالاتر، عناصر ممکن است در سطحی بالاتر تعریف شوند.

اطلاعات ممکن است شامل موارد زیر باشد:

- ترسیم‌ها یا نمودار گردشی سیستمی که تحلیل می‌شود و اجزاء آن، یا گام‌های فرآیند؛
- درکی از وظیفه هر گام از فرآیند یا جزء سیستم؛
- جزئیات پارامترهای محیطی و دیگر پارامترها که بر بهره برداری اثر می‌گذارند؛
- درکی از نتایج وقوع خرابی‌هایی خاص؛
- اطلاعات تاریخچه‌ای در مورد وقوع خرابی‌ها از جمله داده‌های نرخ وقوع خرابی در صورت آمادگی.

ب-۱۳-۴ فرآیند

فرآیند FMEA به این صورت است:

الف) تعریف دامنه کاربرد و اهداف مطالعه؛

ب) جمع آوری گروه؛

پ) درک سیستم/فرآیندی که قرار است در معرض FMECA قرار گیرد؛

ت) تفکیک سیستم به اجزاء یا گام هایش؛

ث) تعریف وظیفه هر گام یا جزء؛

ج) شناسایی موارد زیر برای هر جزء یا گام فهرست شده:

- هر قسمت چگونه امکان دارد خراب شود؟
- چه سازوکارهایی ممکن است این مُدهای وقوع خرابی را ایجاد کنند؟
- اگر وقوع خرابی‌ها واقعا روی دهند، چه تاثیراتی ممکن است داشته باشند؟
- وقوع خرابی بدون ضرر است یا زیانبار؟
- وقوع خرابی چگونه کشف می‌شود؟

چ) شناسایی تدارکات ذاتی در طراحی برای جبران وقوع خرابی.

برای FMEA، گروه مطالعه به طبقه بندی هر یک از مُدهای وقوع خرابی شناسایی شده طبق خطیر بودنش ادامه می‌دهد.

راه‌های متعددی برای انجام این کار وجود دارد. روش‌های رایج عبارتند از:

- شاخص خطیر بودن مُد؛
- سطح ریسک؛
- عدد اولویت ریسک.

خطیر بودن مدل، مقیاس این احتمال است که مُد مورد بررسی منجر به وقوع خرابی سیستم به عنوان یک کل می‌شود. خطیر بودن مدل به این صورت تعریف می‌شود:

احتمال تاثیر وقوع خرابی * نرخ وقوع خرابی مُد * زمان بهره برداری سیستم

اغلب در وقوع خرابی‌های تجهیزات به کار می‌رود که در آن‌ها هر یک از این عبارات را می‌توان به صورت کمّی تعریف نمود و مُدهای وقوع خرابی همگی عواقبی یکسان دارند.

سطح ریسک با ترکیب عواقب مُد وقوع خرابی به دست می‌آید که با احتمال وقوع خرابی رخ می‌دهد. هنگامی به کارمی رود که عواقب مُدهای وقوع خرابی مختلف، متفاوتند و می‌توان آن را در سیستم‌ها یا فرآیندهای تجهیزات به کار برد. سطح ریسک را می‌توان به طور کیفی، نیمه کمّی یا کمّی بیان کرد.

عدد اولویت ریسک (RPN)[1] مقداری نیمه کمّی از خطیر بودن است که با ضرب اعدادی از مقیاس‌های درجه بندی (معمولاً بین ۱ و ۱۰) برای عواقب وقوع خرابی، راستنمایی وقوع خرابی و قابلیت کشف مشکل به دست می‌آید. (اگر یک وقوع خرابی را به سختی بتوان کشف کرد، به آن اولویتی بالاتر داده می‌شود). این روش بیشتر در کاربردهای تضمین کیفیت به کار می‌رود.

هنگامی که مُدهای وقوع خرابی و سازوکارها شناسایی شدند، اقدامات اصلاحی را می‌توان برای مُدهای وقوع خرابی مهمتر تعریف و پیاده سازی کرد.

FMEA در گزارشی مستندسازی می‌شود که شامل موارد زیر است:

- جزئیات سیستمی که تحلیل شده بود؛
- نحوه انجام رویه؛
- مفروضات صورت گرفته در تحلیل؛
- منابع داده‌ها؛
- نتایج، از جمله کاربرگ‌های کامل شده؛

1- Risk priority number

- خطیر بودن (در صورتی که کامل شده باشد) و متدولوژی به کارر فته برای تعریف آن؛
- هر توصیه‌ای برای تحلیل بیشتر، تغییرات طراحی یا خصوصیاتی که قرار است در طرح‌های آزمون گنجانده شوند و غیره.

سیستم را می‌توان پس از آن که اقدامات کامل شدند، با چرخه دیگری از FMEA ارزیابی مجدد نمود.

ب-۱۳-۵ خروجی ها

خروجی اصلی FMEA فهرستی از مُدهای وقوع خرابی، سازوکارهای وقوع خرابی و تاثیراتی برای هر جزء یا گام از سیستم یا فرآیند است (که ممکن است شامل اطلاعاتی در مورد راستنمایی وقوع خرابی شود). همچنین اطلاعاتی در مورد علل وقوع خرابی و عواقب برای کل سیستم ارائه می‌شود. خروجی FMEA شامل درجه بندی اهمیت بر اساس این راستنمایی است که سیستم خراب شود، سطح ریسک ناشی از مُد وقوع خرابی یا ترکیبی از سطح ریسک و قابلیت کشف مُد وقوع خرابی.

FMEA می‌تواند در صورتی که داده‌های نرخ وقوع خرابی مناسب باشند و عواقب کمّی مورد استفاده قرار گیرند، خروجی کمّی ارائه دهد.

ب-۱۳-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت FMEA/ FMECA عبارتند از:

- به طور گسترده‌ای برای انسان، تجهیزات و مُدهای وقوع خرابی سیستم و سخت افزار، نرم افزار و روش‌های اجرایی قابل کاربرد هستند؛
- شناسایی مُدهای وقوع خرابی جزء، علل آن‌ها و تاثیرات آن‌ها روی سیستم و نمایش آن‌ها در فرمتی که به آسانی قابل خواندن است؛
- اجتناب از نیاز به تعدیلات پر هزینه تجهیزات در خدمات از طریق شناسایی مشکلات در اوایل فرآیند طراحی؛
- ارائه ورودی به برنامه‌های پایش تکوین از طریق تاکید بر خصوصیات کلیدی مورد پایش.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- تنها می‌توان از آن‌ها برای شناسایی مُدهای وقوع خرابی واحد استفاده نمود و نه ترکیباتی از مُدهای وقوع خرابی؛
- مطالعات ممکن است زمان بر و پر هزینه باشند، مگر آن که به کفایت کنترل شده و متمرکز باشند؛
- ممکن است برای سیستم‌های پیچیده چند لایه مشکل و خسته کننده باشند.

ب-۱۳-۷ مدرک مرجع

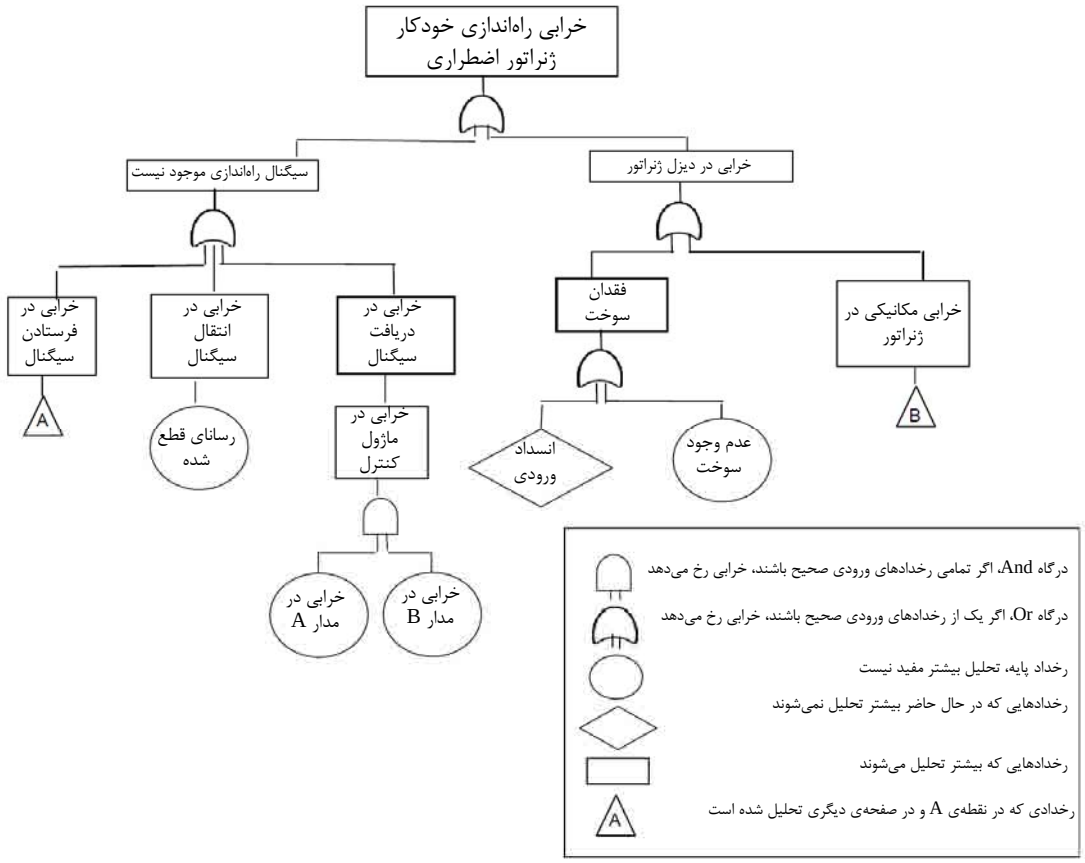
IEC 60812[1], analysis techniques for system reliability – Procedures for failure mode and effect analysis (FMEA)

ب-۱۴ تحلیل درخت خرابی (FTA)[۲]

ب-۱۴-۱ مرور کلی

FTA فنی است برای شناسایی و تحلیل عواملی که می‌توانند به رخداد نامطلوب مشخصی (به نام رخداد بالا) کمک کنند. عوامل علّی به صورت استقرایی شناسایی می‌شوند، به صورتی منطقی سازمان دهی می‌شوند و به طور تصویری در نموداری درختی نمایش داده می‌شوند که عوامل علّی و رابطه منطقی آن‌ها را با رخداد بالا ترسیم می‌کند.

عوامل شناسایی شده در درخت می‌توانند رخدادهایی باشند که مربوط به وقوع خرابی‌های سخت افزار جزء، خطاهای انسانی یا هر رخداد مرتبط دیگری هستند که منجر به رخداد نامطلوب می‌شود.



شکل ب-۲ مثالی از FTA از استاندارد ملی ایران-آی ای سی ۹-۳-۶۰۳۰۰

۱- استاندارد ملی ایران به شماره‌ی ۱۲۳۹۱: ۱۳۸۸، فنون تحلیل قابلیت اطمینان سیستم - روش اجرایی تحلیل نوع واثرات وقوع خرابی (FMEA) با استفاده از منبع IEC 60812: 2006 موجود است

2- Fault tree analysis

ب-۱۴-۲ استفاده

درخت خرابی ممکن است به صورت کیفی برای شناسایی علل بالقوه و مسیرهایی به یک وقوع خرابی (رخداد بالا) یا به صورت کمّی برای محاسبه احتمال رخداد بالا، با اطلاعات احتمالات رخدادهای علّی مورد استفاده قرار گیرد.

ممکن است در مرحله طراحی سیستم برای شناسایی علل بالقوه وقوع خرابی و از این رو انتخاب بین گزینه-های طراحی مختلف به کار رود. ممکن است در فاز بهره برداری برای شناسایی نحوه رخ دادن وقوع خرابی-های اصلی و اهمیت نسبی مسیرهای مختلف به رخداد اصلی به کار رود. درخت خرابی همچنین می‌تواند برای تحلیل یک وقوع خرابی رخ داده به کار رود تا به صورت نموداری نشان دهد که رخدادهای مختلف چگونه کنار هم قرار گرفته اند تا سبب وقوع خرابی شوند.

ب-۱۴-۳ ورودی ها

برای تحلیل کیفی، درکی از سیستم و علل وقوع خرابی و همچنین درکی فنی از نحوه وقوع خرابی سیستم مورد نیاز است. نمودارهای نفصیلی برای کمک به تحلیل مفید هستند.

برای تحلیل کمی، داده‌ها در مورد نرخ‌های وقوع خرابی یا احتمال قرار گرفتن در حالت وقوع خرابی برای تمام رخدادهای اساسی در درخت خرابی مورد نیاز هستند.

ب-۱۴-۴ فرآیند

گام‌های تکوین درخت خرابی عبارتند از:

- رخداد بالایی برای تحلیل تعریف می‌شود. این رخداد ممکن است یک وقوع خرابی یا پیامدی گسترده تر از وقوع خرابی باشد. هنگامی که برآمد تحلیل می‌شود، درخت ممکن است دربردارنده بخشی مربوط به تخفیف وقوع خرابی حقیقی باشد؛
- علل فوری احتمالی یا مُدهای وقوع خرابی که منجر به رخداد بالا می‌شوند، شناسایی می‌شوند. این کار با رخداد بالا آغار می‌شود؛
- هر یک از این علل/ مُدهای خرابی تحلیل می‌شود تا شناسایی شود که وقوع خرابی آن‌ها چگونه رخ می‌دهد؛
- شناسایی گام به گام بهره برداری سیستم نامطلوب مورد پیروی قرار می‌گیرد تا به طور متوالی سطوح سیستم را پایین بیاورد تا زمانی که تحلیل بیشتر بی حاصل شود. در یک سیستم سخت افزار این سطح، ممکن است سطح وقوع خرابی جزء باشد. رخدادها و عوامل علّی در پایین ترین سطح مورد تحلیل سیستم، رخدادهای پایه نام دارند؛
- هنگامی که می‌توان احتمالات را به رخدادهای پایه نسبت داد، می‌توان احتمال رخداد بالا را محاسبه نمود. برای این که کمّی سازی معتبر باشد، باید بتوان نشان داد که برای هر مدخل، تمام

ورودی‌ها هم ضروری هم برای تولید رخداد خروجی کافی هستند. اگر این طور نباشد، درخت خرابی برای تحلیل احتمال، معتبر نیست، اما ممکن است ابزاری مفید برای نمایش روابط علّی باشد.

درخت خرابی به عنوان قسمتی از کمّی سازی، ممکن است نیاز داشته باشد با استفاده از جبر بولی ساده شود تا مُدهای وقوع خرابی تکثیر شونده را به حساب آورد.

علاوه بر ارائه برآوردی از احتمال رخداد اصلی مجموعه‌های برش حداقلی که مسیرهای مجزای منفردی را به رخداد اصلی تشکیل می‌دهند، می‌توانند شناسایی شوند و تاثیر آن‌ها بر رخداد اصلی را می‌توان محاسبه نمود.

به جز درخت‌های خرابی ساده، بسته نرم افزار برای اداره مناسب محاسبات در زمانی که رخدادهای تکراری در مکان‌های متعددی در درخت خرابی حاضر هستند، و برای محاسبه مجموعه‌های برش حداقلی، مورد نیاز است. ابزارهای نرم افزار به حصول اطمینان از سازگاری، صحت و قابلیت تصدیق کمک می‌کنند.

ب-۱۴-۵ خروجی ها

خروجی‌های تحلیل درخت خرابی عبارتند از:

- نمایش تصویری نحوه وقوع رخداد بالا که نشان دهنده مسیرهای در حال تعامل در زمانی است که دو یا چند رخداد همزمان باید رخ دهند؛
- فهرستی از مجموعه‌های برش حداقلی (مسیرهای منفرد به وقوع خرابی) با (در صورتی که داده‌ها آماده باشند) احتمال وقوع هر یک؛
- احتمال رخداد بالا.

ب-۱۴-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت FTA:

- موجب رویکردی منظم می‌شود که بسیار سیستماتیک است، اما در عین حال به قدر کافی انعطاف پذیر است تا تحلیل عوامل مختلفی را ممکن سازد، از جمله تعامل‌های انسانی و پدیده‌های فیزیکی؛
- به کار گیری رویکرد "بالا به پایین"، که به طور ضمنی در تکنیک موجود است، روی تاثیراتی از وقوع خرابی متمرکز است که ارتباط مستقیمی با رخداد بالا دارند؛
- FTA به ویژه برای تحلیل سیستم‌هایی با واسطها و تعامل‌های بسیار، مفید است؛
- نمایش تصویری منجر به درکی آسان از رفتار سیستم و عوامل موجود می‌شود، اما از آنجا که درخت‌ها اغلب بزرگ هستند، پردازش درخت‌های خرابی ممکن است نیازمند سیستم رایانه‌ای باشد. این خصیصه، گنجاندن روابط منطقی پیچیده تری را ممکن می‌سازد (مثلاً NAND و NOR)، اما تصدیق درخت خرابی را نیز مشکل می‌کند؛

- تحلیل منطقی درخت‌های خرابی و شناسایی مجموعه‌های برشی در شناسایی مسیرهای وقوع خرابی ساده در سیستمی بسیار پیچیده مفید است که در آن می‌توان از ترکیبات خاصی از رخدادها که منجر به رخداد بالایی می‌شوند، صرف نظر کرد.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- عدم قطعیت‌های احتمالات رخدادهای پایه در محاسبات احتمال رخداد بالایی گنجانده می‌شوند. این امر می‌تواند منجر به سطوح بالای عدم قطعیت در حالتی شود که احتمالات وقوع خرابی رخداد پایه به درستی شناخته شده نیستند، با این حال درجه بالایی از اطمینان در سیستمی که به خوبی درک شده، ممکن است؛
- در برخی موقعیت‌ها، رخدادهای علّی، متصل به یکدیگر نیستند و ممکن است به سختی بتوان تعیین کرد که تمام مسیرهای مهم به رخداد بالا گنجانده شده اند. مثلاً گنجاندن تمام منابع اشتعال در یک تحلیل آتش سوزی به عنوان رخداد بالا. در این موقعیت تحلیل احتمال ممکن نیست؛
- درخت خرابی یک مدل ایستاست. به وابستگی‌های زمانی پرداخته نمی‌شود؛
- درخت‌های خرابی تنها می‌توانند به حالت‌های دوتایی (خراب شده/نشده) بپردازند؛
- در عین این که می‌توان مُدهای خطای انسانی را در یک درخت خرابی کیفی گنجاند، به طور کلی وقوع خرابی‌های درجه یا کیفیت را که اغلب ویژگی خطای انسانی را توصیف می‌کنند، نمی‌توان به آسانی گنجاند؛
- درخت خرابی گنجاندن آثار دومینو یا وقوع خرابی‌های شرطی را ممکن نمی‌سازد.

ب-۱۴-۷ مدرک مرجع

IEC 61025[1], Fault tree analysis (FTA)

IEC 60300-3-9[2], Dependability management – Part 3: Application guide – Section 9: Risk analysis of technological systems

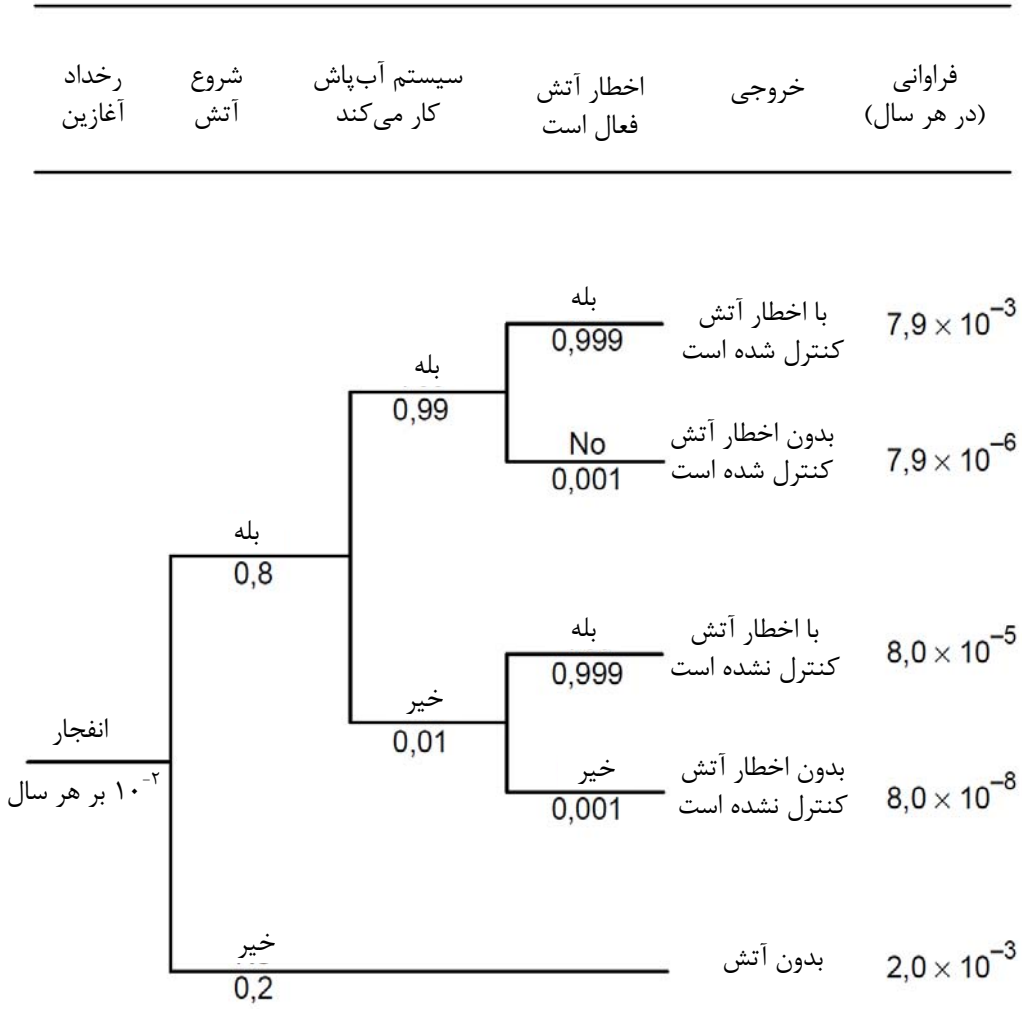
۱- استاندارد ملی ایران به شماره‌ی ۱۲۸۳۳: ۱۳۸۹، تحلیل درخت خرابی با استفاده از منبع IEC 61025: 2006 موجود است

۲- استاندارد ملی ایران-آی ای سی ۹-۳-۶۰۳۰۰:: ۱۳۸۸، مدیریت قابلیت اعتماد-قسمت ۳ :راهنمای کاربرد-بخش ۹: تحلیل ریسک سیستم های تکنولوژیکی با استفاده از منبع IEC 60300-3-9: 1995 موجود است

ب-۱۵ تحلیل درخت رخداد [1] (ETA)

ب-۱۵-۱ مرور کلی

ETA فنی ترسیمی برای نمایش توالی‌های مشترک انحصاری رخدادها پس از رخدادی آغازین طبق انجام وظیفه/عدم انجام وظیفه سیستم‌های مختلفی است که برای تخفیف عواقب آن طراحی شده اند (به شکل ب-۳ مراجعه کنید). می‌توان آن را هم به صورت کیفی و هم کمّی به کار برد.



شکل ب-۳ مثالی از یک درخت رخداد

شکل ب-۳ محاسباتی ساده برای یک درخت رخداد نمونه را هنگامی که شاخه‌ها کاملا مستقل هستند، نشان می‌دهد.

1- Event tree analysis

ETA با تجزیه‌ی درختی شکل، قادر می‌شود رخدادهای در حال تشدید یا تخفیف را در پاسخ به رخداد آغازین نمایش دهد و سیستم‌ها، وظایف یا موانع اضافی را به حساب آورد.

ب-۱۵-۲ استفاده

ETA را می‌توان برای مدل سازی، محاسبه و درجه بندی (از دیدگاه ریسک) سناریوهای سوانح مختلف پس از رخداد آغازین به کار برد.

ETA می‌تواند در هر مرحله‌ای از چرخه عمر یک محصول یا فرآیند مورد استفاده قرار گیرد. ممکن است به طور کیفی برای کمک به توفان ذهنی سناریوهای بالقوه و توالی‌های رخدادها پس از رخداد آغازین و نحوه تاثیرگذاری برخوردها، موانع یا کنترل‌های مختلف با مقصود تخفیف برآمدهای نامطلوب بر برآمدها به کار رود.

تحلیل کمّی، بررسی قابلیت پذیرش کنترل‌ها را ممکن می‌سازد. اغلب برای مدل سازی وقوع خرابی‌ها در جایی به کار می‌رود که چندین حفاظت موجود هستند.

ETA را می‌توان برای مدل سازی رخدادهای آغازین به کار برد که ممکن است سبب سود یا زیان شوند. با این حال اوضاع و احوالی که در آن‌ها مسیرهایی برای بهینه سازی سود جستجو می‌شوند، اغلب بیشتر با استفاده از درخت تصمیم مدل سازی می‌شوند.

ب-۱۵-۳ ورودی ها

ورودی‌ها عبارتند از:

- فهرستی از رخدادهای آغازین مناسب؛
- اطلاعاتی در مورد برخوردها، موانع و کنترل‌ها و احتمالات وقوع خرابی آن‌ها (برای تحلیل‌های کمی)؛
- درک فرآیندهایی که وقوع خرابی اولیه از طریق آن‌ها تشدید می‌شود.

ب-۱۵-۴ فرآیند

درخت رخداد با انتخاب رخداد آغازین شروع می‌شود. این رخداد ممکن است واقعه‌ای مانند انفجار غبار یا رخدادی علّی مانند وقوع خرابی برق باشد. سپس وظایف یا سیستم‌هایی که برای تخفیف برآمدها در کارند، به ترتیب، فهرست می‌شوند. برای هر وظیفه یا سیستم، خطی رسم می‌شود تا موفقیت یا وقوع خرابی آن را نمایش دهد. احتمال خاص وقوع خرابی را می‌توان با این احتمال شرطی برآورد شده، مثلاً با کارشناسی تخصصی یا تحلیل درخت خرابی به هر خط، نسبت داد. مسیرهای مختلف از رخداد آغازین به این صورت مدل سازی می‌شوند.

به یاد داشته باشید که احتمالات درخت وقوع خرابی احتمالاتی شرطی هستند، مثلاً احتمال عمل کردن آب پاش، احتمالی نیست که از آزمون‌هایی تحت وضعیت عادی به دست آمده باشد، بلکه احتمال عمل کردن تحت وضعیت آتش سوزی به علت انفجار است.

هر مسیر در درخت، نمایشگر این احتمال است که تمام رخدادها در آن مسیر به وقوع بپیوندند. بنابراین فراوانی برآمد، با این فرض که رخدادهای مختلف مستقل هستند، با حاصل ضرب احتمالات شرطی منفرد و فراوانی رخداد آغازین نمایش داده می‌شود.

ب-۱۵-۵ خروجی ها

خروجی‌های ETA عبارتند از:

- توصیفات کیفی مشکلات بالقوه، چرا که ترکیباتی از رخدادها انواع مختلفی از مشکلات (گستره‌ای از برآمد ها) را از رخدادهای آغازین ایجاد می‌کنند؛
- برآوردهای کیفی فراوانی‌ها یا احتمالات رخداد ها و اهمیت نسبی توالی‌های وقوع خرابی مختلف و رخدادهای کمک کننده؛
- فهرستی از توصیه‌ها برای کاهش ریسک‌ها؛
- سنجش‌های کمّی اثربخشی توصیه‌ها.

ب-۱۵-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت ETA عبارتند از:

- ETA سناریوهای بالقوه پس از رخدادی آغازین را که تحلیل می‌شوند و تاثیر موفقیت یا وقوع خرابی سیستم‌های جلوگیری کننده یا وظایف را به روش نموداری روشنی نمایش می‌دهد؛
- زمان بندی، وابستگی و آثار دومینو را به حساب می‌آورد که برای مدل سازی در درخت‌های خرابی سنگین هستند؛
- به طور گرافیکی توالی‌هایی از رخدادها را نمایش می‌دهد که هنگام استفاده از درخت‌های خرابی قابل نمایش نیستند.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- برای استفاده از ETA به عنوان قسمتی از ارزیابی جامع، نیاز است که تمام رخدادهای آغازین بالقوه شناسایی شوند. این کار را می‌توان با استفاده از روش تحلیل دیگری (مثلاً HAZOP، PHA) انجام داد و با این حال همیشه احتمال نادیده گرفتن رخدادهای آغازین مهم وجود دارد؛
- با درخت‌های رخداد، تنها حالت‌های موفقیت و وقوع خرابی سیستم مورد توجه قرار می‌گیرند و جای دادن رخدادهای موفقیت یا بازیابی تاخیری مشکل است؛

- هر مسیری مشروط به رخدادهایی است که در نقاط شاخه قبلی در طول مسیر روی داده اند. بنابراین بسیاری از وابستگی‌ها در طول مسیرهای ممکن مورد توجه قرار می‌گیرند. با این حال برخی وابستگی‌ها مانند اجزاء مشترک، سیستم‌های تسهیلات عمومی و اپراتورها ممکن است در صورتی که با دقت اداره نشوند، مورد غفلت واقع شوند و ممکن است منجر به برآوردی خوش بینانه از ریسک شوند.

ب-۱۶ تحلیل علت-عواقب

ب-۱۶-۱ کلیات

تحلیل علت - عواقب ترکیبی از تحلیل درخت خرابی و درخت رخداد است. از رخدادی بحرانی شروع می‌شود و عواقب را از طریق ترکیب مدخل منطقی بله/خیر تحلیل می‌کند که وضعیت‌هایی را نمایش می‌دهد که ممکن است روی دهند یا وقوع خرابی‌های سیستم‌هایی که برای تخفیف عواقب رخداد آغازین طراحی شده اند. علل وضعیت‌ها یا وقوع خرابی‌ها از طریق درخت‌های خرابی تحلیل می‌شوند (به بند ب-۱۵ مراجعه کنید).

ب-۱۶-۲ استفاده

تحلیل علت - عواقب در اصل به عنوان ابزار قابلیت اطمینان برای سیستم‌های بحرانی ایمنی تکوین شد تا درکی کامل تر از وقوع خرابی‌های سیستم ارائه دهد. این تحلیل، مانند تحلیل درخت خرابی برای نمایش منطق وقوع خرابی به کار می‌رود که منجر به رخدادی بحرانی می‌شود، اما با ممکن ساختن تحلیل وقوع خرابی‌های ترتیبی زمانی به انجام وظیفه درخت خرابی می‌افزاید. این روش همچنین به تاخیرات زمانی این امکان را می‌دهد که در تحلیل عواقب گنجانده شوند که با درخت‌های رخداد ممکن نیست.

این روش برای تحلیل مسیرهای مختلفی که یک سیستم می‌تواند پس از رخدادی بحرانی در پیش بگیرد و بسته به رفتار زیرسیستم‌هایی خاص (مانند سیستم‌های پاسخ اضطراری) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مسیرها در صورتی که کمّی شوند، برآوردی از احتمال عواقب ممکن مختلف پس از رخدادی بحرانی را ارائه می‌دهند.

از آنجا که هر عاقبت در نمودار علت - عواقب ترکیبی از درخت‌های خرابی فرعی است، تحلیل علت - عواقب را می‌توان به عنوان ابزاری برای ایجاد درخت‌های خرابی بزرگ به کار برد.

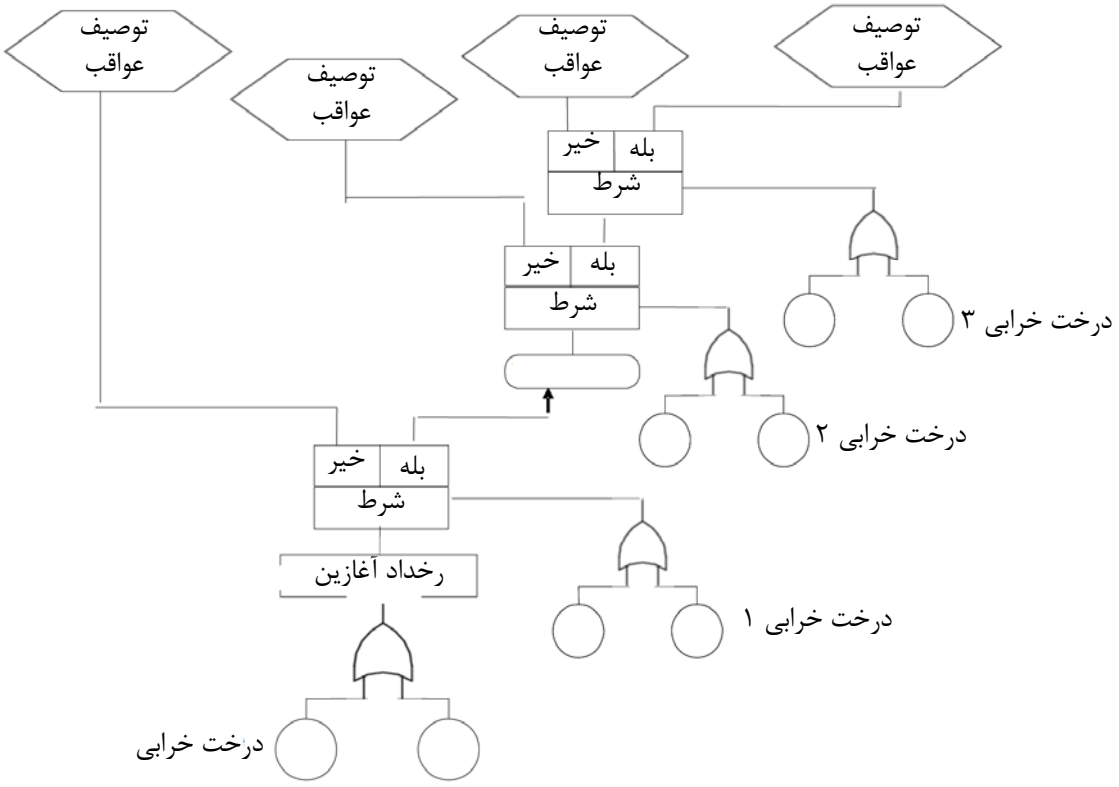
تهیه و استفاده از نمودارها پیچیده است و نمودارها بیشتر هنگامی به کار می‌روند که بزرگی عواقب بالقوه وقوع خرابی، تلاش شدید را توجیه می‌کند.

ب-۱۶-۳ ورودی ها

درکی از سیستم و مُدهای وقوع خرابی آن و سناریوهای وقوع خرابی مورد نیاز است.

ب-۱۶-۴ فرآیند

شکل ب-۴ نموداری مفهومی از تحلیل معمول علت - عواقب را نشان می‌دهد.



شکل ب-۴ مثالی از تحلیل علت - عواقب

روش اجرایی به این صورت است:

الف) شناسایی رخداد بحرانی (یا آغازین) (معادل رخداد بالایی درخت خرابی و رخداد آغازین درخت رخداد)؛

ب) تکوین و صحه گذاری درخت خرابی برای علل رخداد آغازین چنان که در بند ب-۱۴ توصیف شده است. نمادهایی یکسان با نمادهای به کار رفته در تحلیل درخت خرابی معمولی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛

پ) تصمیم گیری در مورد توالی درنظر گرفتن وضعیت‌ها. این تصمیم گیری بایستی توالی منطقی باشد مانند توالی زمانی وقوع آن‌ها؛

ت) ایجاد مسیرهایی برای عواقب بسته به وضعیت‌های مختلف. این کار مشابه درخت رخداد است، اما شکاف در مسیرهای درخت وقوع خرابی با مربعی نشان داده می‌شود که برچسب وضعیت خاصی که به کار می‌رود را داراست؛

ث) در صورتی که وقوع خرابی‌های هر مربع وضعیت مستقل باشند، احتمال هر یک از عواقب را می‌توان محاسبه نمود. این کار به این صورت انجام می‌گیرد که در ابتدا احتمالاتی برای هر خروجی مربع وضعیت

تعیین می‌شود (با استفاده از درخت‌های خرابی مرتبط مناسب). احتمال هر توالی که منجر به عاقبتی خاص می‌شود با ضرب احتمالات هر توالی وضعیت‌ها به دست می‌آید که در این عاقبت خاص پایان می‌یابد. اگر بیش از یک توالی با عاقبتی یکسان به اتمام برسد، احتمالات هر توالی اضافه می‌شوند. اگر وابستگی‌هایی بین وقوع خرابی‌های وضعیت‌ها در یک توالی موجود باشند (مثلاً وقوع خرابی برق سبب وقوع خرابی وضعیت‌های متعدد شود) آن گاه وابستگی‌ها بایستی پیش از محاسبه مورد توجه قرار گیرند.

ب-۱۶-۵ خروجی

خروجی تحلیل علت - عواقب نمایشی نموداری از نحوه وقوع خرابی یک سیستم است که علل و همچنین عواقب و برآوردی از احتمال وقوع عواقبت بالقوه بر اساس تحلیل احتمالات وقوع وضعیتی خاص در پی رخداد بحرانی را نشان می‌دهد.

ب-۱۶-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

مزایای تحلیل علت - عواقب با مزایای ترکیبی از درخت‌های رخداد و درخت‌های خرابی یکسان هستند. به علاوه، بر برخی از محدودیت‌های این تکنیک‌ها غلبه می‌کند، به این صورت که قادر است رخدادهایی را تحلیل نماید که در طول زمان تکوین می‌یابند. تحلیل علت - عواقب دیدی جامع از سیستم فراهم می‌سازد.

محدودیت‌ها از این قرارند که پیچیده تر از تحلیل درخت خرابی و درخت رخداد هستند، هم از نظر ساخت و هم نحوه پرداختن به وابستگی‌ها در طول کمّی سازی.

ب-۱۷ تحلیل علت و معلولی

ب-۱۷-۱ مرور کلی

تحلیل علت و معلولی روشی ساختار یافته برای شناسایی علل احتمالی رخدادی نامطلوب یا یک مشکل است. این تحلیل عوامل کمک کننده احتمالی را در دسته‌های گسترده سازمان دهی می‌کند تا تمام فرض-های ممکن بتوانند بررسی شوند. با این حال به خودی خود علل حقیقی را نشان نمی‌دهد، چرا که این علل را تنها می‌توان با شواهد حقیقی و آزمون تجربی فرض‌ها تعیین نمود. اطلاعات در یک نمودار استخوان ماهی (که ایشیکاوا نیز نام دارد) یا گاهی نمودار درختی سازمان دهی می‌شود (به ب-۱۷-۴ مراجعه کنید).

ب-۱۷-۲ استفاده

تحلیل علت و معلولی نمایشی تصویری و ساختار یافته از فهرستی از علل تاثیری خاص ارائه می‌دهد. تاثیر ممکن است بسته به فضا، مثبت (هدف) یا منفی (مشکل) باشد.

این تحلیل برای ممکن ساختن بررسی تمام سناریوها و علل ممکن به کار می‌رود که توسط گروهی از متخصصین ایجاد شده اند و ایجاد توافق را در مورد محتمل ترین علل ممکن می‌سازد که سپس می‌توانند به صورت تجربی یا با سنجش داده‌های آماده مورد آزمایش قرار گیرند. گسترش تفکر در مورد علل ممکن در

آغاز تحلیل وسپس ایجاد فرض‌های بالقوه‌ای که می‌توانند به طور رسمی تر بررسی شوند، بیشترین ارزش را دارد.

ایجاد نمودار علت و معلولی را می‌توان در زمان نیاز به موارد زیر انجام داد:

- شناسایی علل ریشه‌ای احتمالی، علل اساسی برای تاثیر، مشکل یا وضعیتی خاص؛
- طبقه بندی و مرتبط ساختن برخی تعامل‌ها بین عواملی که بر فرآیندی خاص اثر می‌گذارند؛
- تحلیل مشکلات موجود تا اقدام اصلاحی بتواند انجام گیرد.

مزایای ایجاد نمودار علت و معلولی عبارتند از:

- توجه اعضای بازنگری را به مشکلی خاص جلب می‌نماید؛
- کمک به تعیین علل ریشه‌ای مشکل با استفاده از رویکردی ساختار یافته؛
- مشارکت گروهی را تشویق می‌کند و از دانش گروهی برای محصول یا فرآیند بهره می‌گیرد؛
- برای تهیه نمودار روابط علت و معلولی از فرمتی منظم استفاده می‌کند که به آسانی خوانده می‌شود؛
- علل احتمالی تغییر پذیری را در یک فرآیند نشان می‌دهد؛
- حوزه‌هایی را شناسایی می‌کند که در آن‌ها داده‌ها بایستی برای مطالعه بیشتر جمع آوری شوند.

تحلیل علت و معلولی را می‌توان به عنوان روشی برای اجرای تحلیل علت و معلولی به کار برد (به بند ب-۱۲ مراجعه کنید).

ب-۱۷-۳ ورودی

ورودی به تحلیل علت و معلولی ممکن است از تخصص و تجربه شرکت کنندگان یا مدلی به دست آید که قبلا تکوین شده و در گذشته مورد استفاده قرار گرفته است.

ب-۱۷-۴ فرآیند

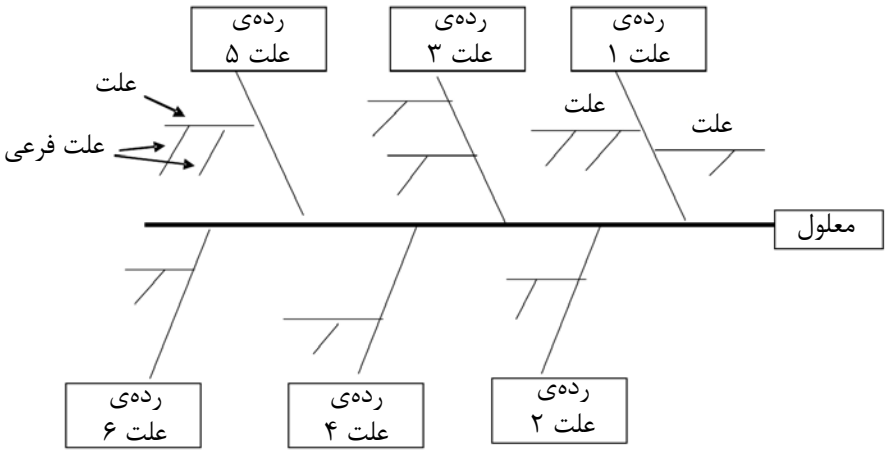
تحلیل علت و معلولی بایستی توسط گروهی از متخصصین انجام گیرد که از مشکلی که به راه حل نیاز دارند، مطلع باشند.

گام‌های اساسی در اجرای تحلیل علت و معلولی عبارتند از:

- ایجاد تاثیری که قرار است مورد تحلیل قرار گیرد و قرار دادن آن در یک مربع. تاثیر ممکن است بسته به اوضاع و احوال مثبت (هدف) یا منفی (مشکل) باشد؛
- تعیین دسته‌های اصلی علل که با مربع‌هایی در نمودار استخوان ماهی نمایش داده می‌شوند. معمولاً برای یک مشکل سیستم، دسته‌ها ممکن است افراد، تجهیزات، محیط، فرآیندها و غیره باشند. با این حال این موراد به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که برای فضای خاص مناسب باشند؛

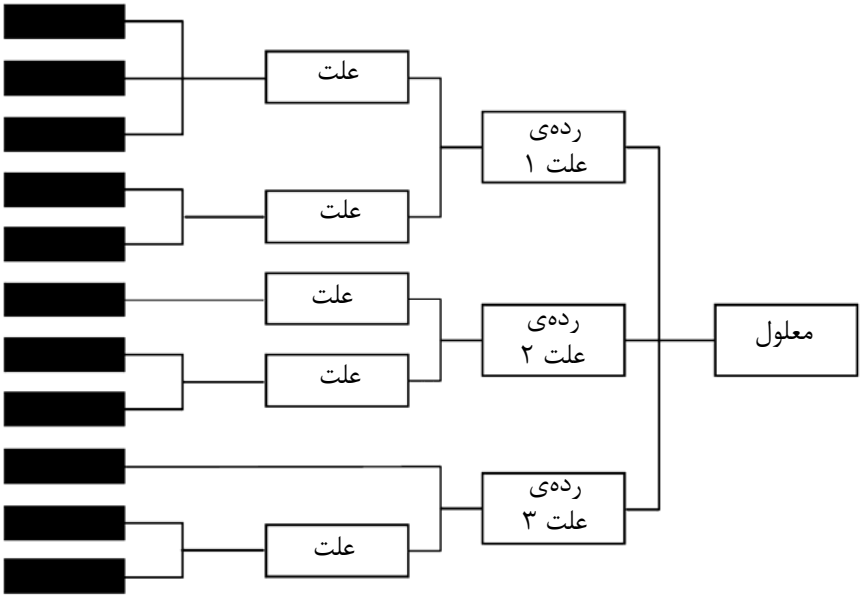
- پر کردن علل احتمالی برای هر دسته اصلی با شاخه‌ها و زیرشاخه‌ها برای توصیف رابطه بین آن‌ها؛
- ادامه به پرسیدن "چرا؟" یا "چه چیزی سبب این امر شد؟" برای اتصال علل؛
- بازنگری تمام شاخه‌ها برای تصدیق سازگاری و کامل بودن و حصول اطمینان از این که علل در تاثیر اصلی به کار می‌روند؛
- شناسایی محتمل ترین علل بر اساس نظر گروه و شواهد آماده.

نتایج معمولاً یا به صورت نمودار استخوان ماهی یا ایشیکاوا یا نمودار درختی نمایش داده می‌شوند. نمودار استخوان ماهی با جداسازی علل در دسته‌های اصلی (که با خطوطی نمایش داده می‌شوند که از استخوان ماهی بیرون آمده اند) با شاخه‌ها و زیرشاخه‌هایی نمایش داده می‌شود که علل خاص تری را در این دسته‌ها توصیف می‌کنند.



شکل ب-۵ مثالی از نمودار ایشیکاوا یا استخوان ماهی

نمایش درختی ظاهری شبیه به درخت خرابی دارد، گرچه اغلب با استفاده از درختی نمایش داده می‌شود که از چپ به راست منتشر می‌شود و در صفحه رو به پایین انتشار نمی‌یابد. با این حال نمی‌توان آن را کمّی سازی کرد تا احتمال رخداد اصلی را به دست دهد، چرا که علل عوامل احتمالی کمک کننده هستند و نه وقوع خرابی‌هایی با احتمال وقوع شناخته شده.



شکل ب-۶ – مثالی از فرمول بندی درختی تحلیل علت و معلولی

نمودارهای علت و معلول عموما به صورت کیفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. می‌توان فرض کرد که احتمال مشکل، ۱ است و احتمالاتی به علل عام و سپس به علل فرعی، بر مبنای درجه اعتقاد در مورد ارتباط آن‌ها نسبت داد. با این حال عوامل کمک کننده اغلب تعامل دارند و به طرق پیچیده‌ای به معلول کمک می‌کنند که کمّی سازی را غیرمعتبر می‌سازد.

ب-۱۷-۵ خروجی

خروجی از یک تحلیل علت و معلولی، یک نمودار استخوان ماهی یا درختی است که علل ممکن و محتمل را نشان می‌دهد. سپس این علل باید تصدیق شده و به طور تجربی آزموده شوند. این کار پیش از ارائه توصیه‌ها انجام می‌گیرد.

ب-۱۷-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت عبارتند از:

- دخالت متخصصین که در محیطی گروهی کار می‌کنند؛
- تحلیل ساختاریافته؛
- بررسی تمام فرض‌های محتمل؛
- شرح گرافیکی نتایج که به آسانی قابل خواندن است؛
- حوزه‌های شناسایی شده که در آن‌ها به داده‌های بیشتری نیاز است؛

- می تواند برای شناسایی عوامل کمک کننده به معلول‌های مطلوب و همچنین نامطلوب مورد استفاده قرار گیرد. تمرکزی مثبت روی یک مسئله می‌تواند مالکیت و مشارکت بیشتری را تشویق نماید.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- ممکن است گروه از تخصص ضروری برخوردار نباشد؛
- به خودی خود فرآیندی کامل نیست و باید قسمتی از تحلیل علت ریشه‌ای ای باشد تا توصیه ارائه دهد؛
- فنی نمایشی برای توفان ذهنی است و نه یک تکنیک تحلیلی مجزا؛
- جداسازی عوامل علّی در دسته‌های اصلی در ابتدای تحلیل بدین معناست که تعامل‌ها بین دسته‌ها ممکن است به کفایت مورد بررسی قرار نگیرند، مثلاً در جایی که وقوع خرابی تجهیزات ناشی از خطای انسانی است یا مشکلات انسانی ناشی از طراحی ضعیف هستند.

ب-۱۸ تحلیل لایه‌های حفاظت [1](LOPA)

ب-۱۸-۱ مرور کلی

LOPA روشی نیمه کمّی برای برآورد ریسک‌های مربوط به رخداد یا سناریویی نامطلوب است. این روش تحلیل می‌کند که آیا اقدامات کافی برای کنترل یا تخفیف ریسک موجود هستند.

یک جفت علت– عواقب انتخاب می‌شود و لایه‌های حفاظتی شناسایی می‌شوند که مانع از این می‌شوند که علت منجر به عاقبتی نامطلوب شود. یک دستور محاسبه بزرگی انجام می‌گیرد تا تعیین شود که آیا حفاظت برای کاهش ریسک به سطحی قابل تحمل، کافی است.

ب-۱۸-۲ استفاده ها

LOPA را می‌توان به صورت کیفی صرفا برای بازنگری لایه‌های حفاظت بین خطر و رخدادی علّی و برآمد به کار برد. معمولاً رویکردی نیمه کمّی برای افزودن سختی بیشتر به فرآیندهای غربال به کار می‌رود، مثلاً پیروی از HAZOP یا PHA.

LOPA مبنایی برای مشخص کردن لایه‌های حفاظت مستقل ([2]IPLها) و سطوح انسجام ایمنی (سطوح [3]SIL) برای سیستم‌های مجهز به دستگاه‌ها فراهم می‌کند، چنان که در سری [4]IEC 61508 و در

1- Layers of protection analysis
2- Independent protection layers
3- Safety integrity levels

۴- سری استاندارد ملی ۶۱۵۰۸: ۱۳۸۹ با استفاده از منبع سری استاندارد IEC 61508: 2010 موجود می‌باشد

IEC 61511[1] در تعیین الزامات سطح انسجام ایمنی (SIL) برای سیستم‌های مجهز به دستگاه‌های ایمنی توصیف شده است. LOPA را می‌توان برای کمک به تخصیص منابع کاهش ریسک به طور اثربخش از طریق تحلیل کاهش ریسک ناشی از هر لایه حفاظت، به کار برد.

ب-۱۸-۳ ورودی ها

ورودی‌ها به LOPA عبارتند از:

- اطلاعات اساسی در مورد ریسک‌ها از جمله خطرات، علل و عواقب چنان که PHA ارائه کرده است؛
- اطلاعات در مورد کنترل‌هایی که در کارند یا پیشنهاد شده اند؛
- فراوانی‌های رخداد علّی و احتمالات وقوع خرابی لایه حفاظت، اندازه‌های عواقب و تعریفی از ریسکی قابل تحمل؛
- فراوانی‌های علت آغازین، احتمالات وقوع خرابی لایه حفاظت، اندازه‌های عواقب و تعریفی از ریسکی قابل تحمل.

ب-۱۸-۴ فرآیند

LOPA توسط گروهی از متخصصین انجام می‌گیرد که روش اجرایی زیر را به کار می‌برند:

- شناسایی علل آغازین برای برآمدی نامطلوب و جستجوی داده‌ها در مورد فراوانی‌ها و عواقب آن‌ها؛
- انتخاب یک جفت واحد دلیل-عواقب؛
- لایه‌های حفاظتی که مانع از پیشروی علت به عواقب نامطلوب می‌شوند شناسایی شده و برای اثربخشی مورد تحلیل قرار می‌گیرند؛
- شناسایی لایه‌های حفاظت مستقل (IPL ها) (تمام لایه‌های حفاظت IPL نیستند)؛
- برآورد احتمال وقوع خرابی هر IPL؛
- فراوانی علت آغازی با احتمالات وقوع خرابی هر IPL و احتمالات هر تعدیل کننده شرطی (مثلاً یک تعدیل کننده شرطی این است که آیا فردی حضور دارد که ممکن است تحت تاثیر قرار گیرد) ترکیب می‌شود تا فراوانی وقوع عواقب نامطلوب تعیین شود. دستورهای بزرگی برای فراوانی‌ها و احتمالات به کار می‌روند؛
- سطح محاسبه شده ریسک با سطوح رواداری ریسک مقایسه می‌شود تا تعیین شود که آیا حفاظت بیشتری مورد نیاز است.

---

۱ - سری استاندارد ملی ۹۴۸۰ با استفاده از منبع سری استاندارد IEC 61511: 2003 موجود می‌باشد

IPL یک سیستم یا اقدام دستگاه است که قادر به ممانعت از پیشروی یک سناریو به عواقب نامطلوبش می-شود. این سیستم یا دستگاه مستقل از رخداد علّی یا هر لایه دیگری از حفاظت است که با سناریو مرتبط باشد.

IPLها عبارتند از:

- خصوصیات طراحی؛
- دستگاه‌های حفاظت فیزیکی؛
- قفل‌ها و سیستم‌های خاموشی؛
- اخطارهای بحرانی و مداخله دستی؛
- حفاظت فیزیکی پس از رخداد؛
- سیستم‌های پاسخ اضطراری (روش‌های اجرایی و بازرسی‌ها IPL نیستند).

ب-۱۸-۵ خروجی

توصیه‌هایی برای هر کنترل بیشتر و اثربخشی این کنترل‌ها در کاهش ریسک باید ارائه شوند.

LOPA یکی از تکنیک‌های به کار رفته برای ارزیابی SIL در هنگام روبرویی با سیستم‌های مربوط به ایمنی/مجهز به دستگاه است.

ب-۱۸-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت عبارتند از:

- نیاز به زمان و منابع کمتری نسبت به تحلیل درخت خرابی یا ارزیابی ریسک کمّی کامل دارد، اما شدید تر از قضاوت‌های ذهنی کیفی است؛
- به شناسایی و تمرکز منابع روی بحرانی ترین لایه‌های حفاظت کمک می‌کند؛
- بهره برداری‌ها، سیستم‌ها و فرآیندهایی را شناسایی می‌کند که حفاظت‌هایی ناکافی برای آن‌ها موجود است؛
- روی جدی ترین عواقب تمرکز دارد.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- LOPA در هر زمان روی یک جفت دلیل-عواقب و یک سناریو متمرکز است. تعامل‌های پیچیده بین ریسک‌ها یا بین کنترل‌ها تحت پوشش قرار نمی‌گیرند؛
- ریسک‌های کمّی شده ممکن است وقوع خرابی‌های مُد مشترک را به حساب نیاورند؛

- LOPA در سناریوهای بسیار پیچیده به کار نمی‌رود که در آن‌ها جفت‌های دلیل-عواقب بسیاری موجود هستند یا عواقب مختلفی بر علاقمندان متفاوت اثر می‌گذارند.

ب-۱۸-۷ مدارک مرجع

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

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

ب-۱۹ تحلیل درخت تصمیم

ب-۱۹-۱ مرور کلی

درخت تصمیم نمایش دهنده گزینه‌های تصمیم گیری و برآمدها به صورتی ترتیب است که برآمدهای غیرقطعی را به حساب می‌آورد. از این نظر شبیه به درخت رخداد است که با رخدادی آغازین یا تصمیمی آغازی شروع می‌شود و مسیرها و برآمدهای مختلفی را در نتیجه رخدادهایی مدل سازی می‌کند که ممکن است روی دهند و تصمیمات مختلفی که ممکن است اتخاذ شوند.

ب-۱۹-۲ استفاده

درخت تصمیم در اداره ریسک‌های پروژه و در دیگر اوضاع و احوال به کار می‌رود تا به انتخاب بهترین راه کار در جایی که عدم قطعیت موجود است، کمک کند. نمایش گرافیکی همچنین می‌تواند به تبادل علل برای تصمیمات کمک کند.

ب-۱۹-۳ ورودی

یک طرح پروژه با نقاط تصمیم. اطلاعات در مورد برآمدهای ممکن تصمیمات و رخدادهای اتفاقی که ممکن است بر تصمیمات اثر بگذارند.

ب-۱۹-۴ فرآیند

درخت تصمیم با تصمیمی آغازی شروع می‌شود، مثلاً تصمیم به ادامه پروژه الف و نه پروژه ب. با پیشروی دو پروژه فرضی، رخدادهایی متفاوت روی می‌دهند و تصمیمات قابل پیش بینی متفاوتی لازم است اتخاذ شوند. این موارد در فرمت درختی نمایش داده می‌شوند که شبیه به درخت رخداد است. احتمال رخدادها می‌تواند همراه با هزینه یا سودمندی برآمد نهایی مسیر برآورد شود.

اطلاعات در مورد بهترین مسیر تصمیم به طور منطقی موردی است که بالاترین مقدار مورد انتظار محاسبه شده را به عنوان حاصل ضرب تمام احتمالات شرطی در طول مسیر و مقدار برآمد تولید می‌کند.

ب-۱۹-۵ خروجی ها

خروجی‌ها عبارتند از:

- تحلیلی منطقی از ریسک که گزینه‌های مختلفی را که می‌توان انتخاب نمود، نمایش می‌دهد؛

- محاسبه‌ای از مقدار مورد انتظار برای هر مسیر ممکن.

ب-۱۹-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت عبارتند از:

- آن‌ها نمایش گرافیکی روشنی از جزئیات مشکل تصمیم گیری ارائه می‌دهند؛
- محاسبه بهترین مسیر در یک موقعیت را ممکن می‌سازند.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- درخت‌های تصمیم بزرگ ممکن است برای تبادل اطلاعات راحت با دیگران بیش از حد پیچیده شوند؛
- ممکن است برای نمایش آن به صورت نمودار درختی، تمایل بیش از حدی به ساده کردن موقعیت باشد.

ب-۲۰ ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی (HRA)[1]

ب- ۲۰-۱ مرور کلی

ارزیابی قابلیت اطمینان انسانی (HRA) به پیامد انسان‌ها بر عملکرد سیستم می‌پردازد و می‌توان آن را برای سنجش تاثیرات خطای انسانی بر سیستم به کار برد.

بسیاری از فرآیندها دارای قابلیت خطای انسانی هستند، به ویژه هنگامی که زمان موجود برای تصمیم گیری اپراتور، کوتاه است. احتمال این که مشکلات به قدر کافی گسترش یافته و جدی شوند، می‌تواند پایین باشد. با این حال گاهی اقدام انسانی تنها دفاع برای ممانعت از پیشروی وقوع خرابی اولیه در جهت سانحه است.

اهمیت HRA یا سوانح مختلفی شرح داده شده که در آن‌ها خطاهای بحرانی انسانی به توالی فاجعه آمیز از رخدادها کمک کرده است. چنین سوانحی اخطارهایی هستند در برابر ارزیابی‌های ریسک که تنها بر سخت افزار و نرم افزار در سیستم تمرکز دارند. آن‌ها خطرات نادیده گرفتن احتمال نقش خطای انسانی را شرح می‌دهند. به علاوه HRAها در تاکید بر خطاهایی مفیدند که می‌توانند مانع بهره وری شوند، همچنین در آشکار ساختن نحوه بازیابی این خطاها و دیگر وقوع خرابی‌ها (سخت افزار و نرم افزار) توسط اپراتورهای انسانی و پرسنل نگهداری.

ب-۲۰-۲ استفاده

HRA می‌تواند به صورت کیفی یا کمّی مورد استفاده قرار گیرد. HRA به صورت کیفی برای شناسایی قابلیت خطای انسانی و علل آن به کار می‌رود تا احتمال خطا کاهش داده شود. HRA کمّی برای فراهم ساختن داده‌هایی در مورد وقوع خرابی‌های انسانی در FTA یا دیگر تکنیک‌ها به کار می‌رود.

1- Human reliability assessment

ب-۲۰-۳ ورودی

ورودی‌ها به HRA عبارتند از:

- اطلاعاتی برای تعریف تکالیفی که افراد بایستی انجام دهند؛
- تجربیاتی از انواع خطراتی که در عمل روی می‌دهند و احتمال خطا؛
- تخصص در خطای انسانی و کمّی سازی آن.

ب-۲۰-۴ فرآیند

فرآیند HRA از این قرار است:

- **تعریف مشکل**، چه انواعی از دخالت انسانی قرار است مورد بررسی / ارزیابی واقع شوند؟
- **تحلیل تکلیف**، تکلیف چگونه اجرا خواهد شد و چه نوع کمک‌هایی برای پشتیبانی از عملکرد مورد نیاز خواهند بود؟
- **تحلیل خطای انسانی**، اجرای تکلیف چگونه ممکن است با وقوع خرابی مواجه شود: چه خطاهایی می‌توانند روی دهند و چگونه می‌توانند مورد بازیابی قرار گیرند؟
- **نمایش**، چگونه می‌توان این خطاها یا وقوع خرابی‌های اجرای تکلیف را با سخت افزار، نرم افزار و رخدادهای محیطی ادغام نمود تا محاسبه احتمالات وقوع خرابی سیستم کلی ممکن شود؟
- **غربال**، آیا خطا یا تکلیفی موجود است که نیازمند کمّی سازی تفصیلی نباشد؟
- **کمی سازی**، خطاها و وقوع خرابی‌های منفرد تکالیف تا چه حد محتمل هستند؟
- **ارزیابی پیامد**، چه خطاها یا فعالیت‌هایی بیشترین اهمیت را دارند، یعنی کدام یک از آن‌ها بالاترین کمک را به قابلیت اطمینان یا ریسک می‌کنند؟
- **کاهش خطا**، چگونه می‌توان به قابلیت اطمینان انسانی بالاتری دست یافت؟
- **مستندسازی**، چه جزئیاتی از HRA نیاز است مستندسازی شوند؟

در عمل، فرآیند HRA گام به گام پیش می‌رود، گرچه گاهی قسمت‌هایی (مثلاً تحلیل تکالیف و شناسایی خطا) موازی با یکدیگر پیش می‌روند.

ب-۲۰-۵ خروجی

خروجی‌ها عبارتند از:

- فهرستی از خطاها که ممکن است روی دهند و روش‌هایی که با استفاده از آن‌ها می‌توان این خطاها را کاهش داد – ترجیحا از طریق طراحی سیستم؛

- مدهای خطا، علل و عواقب انواع خطاها؛
- ارزیابی کیفی یا کمّی ریسکی که خطاها ایجاد می‌کنند.

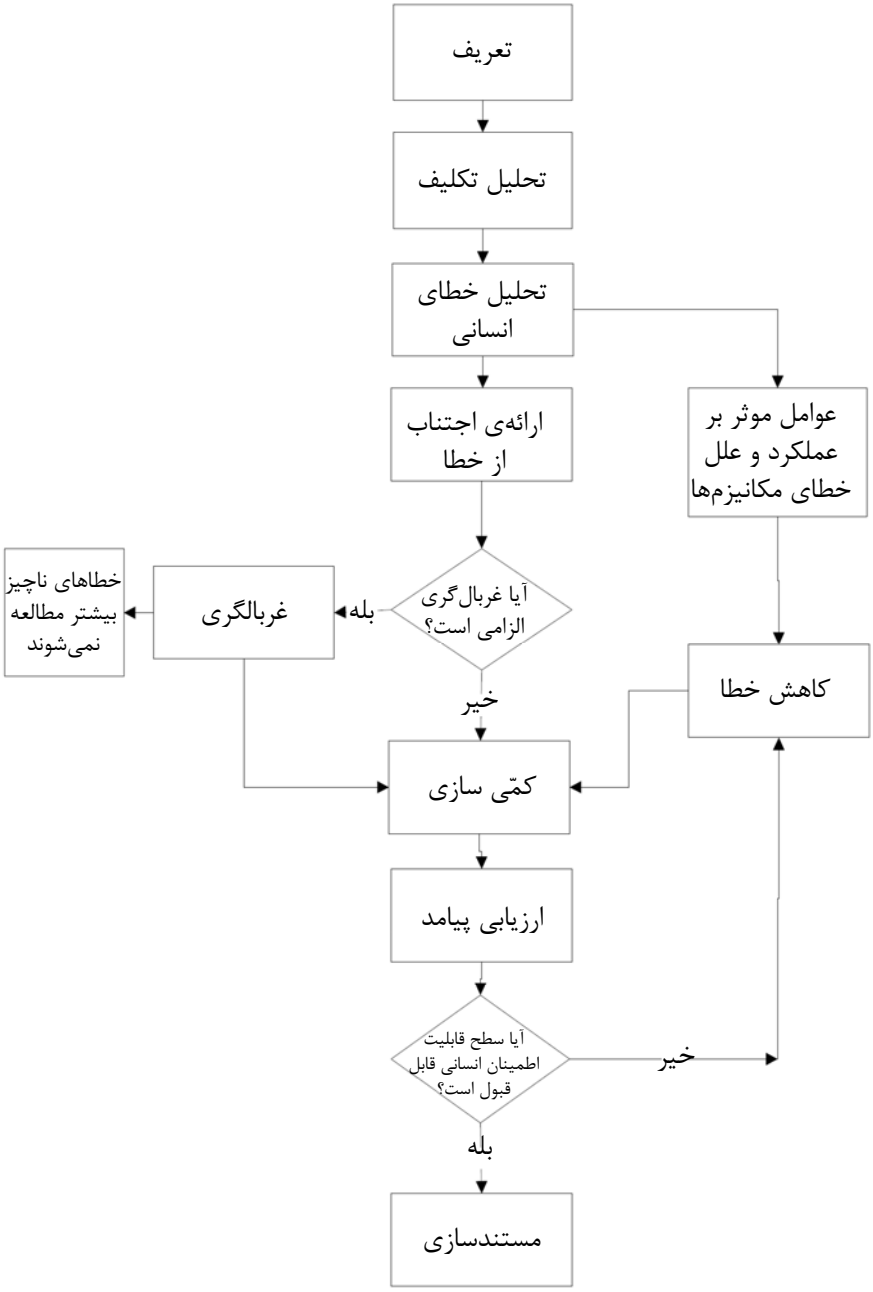
ب-۲۰-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت HRA عبارتند از:

- HRA سازوکاری رسمی برای شمول خطای انسانی در بررسی ریسک‌های مربوط به سیستم‌هایی ارائه می‌دهد که در آن‌ها انسان‌ها اغلب نقش مهمی ایفا می‌کنند؛
- بررسی رسمی مُدها و سازوکارهای خطای انسانی می‌تواند به کاهش احتمال وقوع خرابی به علت خطا کمک کند.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- پیچیدگی و تغییرپذیری انسان‌ها که تعریف مُدها و احتمالات ساده وقوع خرابی را مشکل می‌سازد؛
- بسیاری از فعالیت‌های انسان‌ها یک مُد ساده قبول شدن/رد شدن، ندارند. HRA در پرداختن به وقوع خرابی‌های ناتمام یا وقوع خرابی در کیفیت یا تصمیم گیری ضعیف، مشکل دارد.



شکل ب-۷ مثالی از ارزیابی قابلیت اطمینان انسان

ب-۲۱ تحلیل پاپیونی

ب-۲۱-۱ مرور کلی

تحلیل پاپیونی روش نموداری ساده‌ای است برای توصیف و تحلیل مسیرهای ریسک از علل به عواقب. می-توان این تحلیل را ترکیبی از تفکر در مورد یک درخت خرابی دانست که علت رخدادی را تحلیل می‌کند (که با گره پاپیون نمایش داده می‌شود) و یک درخت رخداد که عواقب را تحلیل می‌کند. با این حال تمرکز

پاپیون روی موانع بین علل و ریسک و همچنین ریسک و عواقب است. نمودارهای پاپیونی را می‌توان با درخت‌های خرابی و رخداد آغاز نمود، اما اغلب مستقیما از یک جلسه توفان ذهنی رسم می‌شوند.

ب-۲۱-۲ استفاده

تحلیل پاپیونی برای نمایش ریسکی به کار می‌رود که گستره‌ای از علل و عواقب ممکن را نشان می‌دهد. هنگامی به کار می‌رود که موقعیت پیچیدگی تحلیل درخت خرابی کامل را ضمانت نمی‌کند، یا هنگامی که تمرکز بیشتر روی حصول اطمینان از این است که مانع یا کنترلی برای هر مسیر وقوع خرابی موجود است. هنگامی مفید است که مسیرهای روشن و مستقلی موجودند که به وقوع خرابی منجر می‌شوند.

تحلیل پاپیونی اغلب راحت تر از درخت‌های خرابی و رخداد درک می‌شود و از این رو می‌تواند در جایی که تحلیل با استفاده از تکنیک‌های پیچیده تری انجام می‌گیرد، ابزار تبادل اطلاعات مفیدی باشد.

ب-۲۱-۳ ورودی

درکی از اطلاعات در مورد علل و عواقب ریسک و موانع و کنترل‌هایی که ممکن است مانع از آن شده، آن را تخفیف دهند یا برانگیزند، مورد نیاز است.

ب-۲۱-۴ فرآیند

نمودار پاپیونی به این صورت ترسیم می‌شود:

الف) ریسکی خاص برای تحلیل شناسایی شده و به صورت گره میانی پاپیون، نمایش داه می‌شود؛

ب) علل رخداد با در نظر گرفتن منابع ریسک (یا خطرات در فضای ایمنی) فهرست می‌شوند؛

پ) سازوکاری که منبع ریسک از طریق آن منجر به رخدادی بحرانی می‌شود، شناسایی می‌شود؛

ت) بین هر علت و رخداد، خطی رسم می‌شود که سمت چپ پاپیون را تشکیل می‌دهد. عواملی که ممکن است منجر به تشدید شوند در نمودار گنجانده می‌شوند؛

ث) موانعی را که بایستی مانع هر دلیلی شوند که منجر به عواقب نامطلوب می‌شود، می‌توان با خطوط عمودی روی خط، نشان داد. هنگامی که عواملی موجودند که ممکن است سبب تشدید شوند، موانع تشدید را نیز می‌توان نمایش داد. می‌توان از این رویکرد برای عواقب مثبت در جایی استفاده کرد که خطوط عمودی، کنترل‌هایی را منعکس می‌کنند که ایجاد رخداد را بر می‌انگیزند؛

ج) در سمت راست پاپیون، عواقب بالقوه متفاوتی از ریسک شناسایی می‌شوند و خطوطی رسم می‌شوند تا از رخداد ریسک به هر عاقبت بالقوه انتشار یابند؛

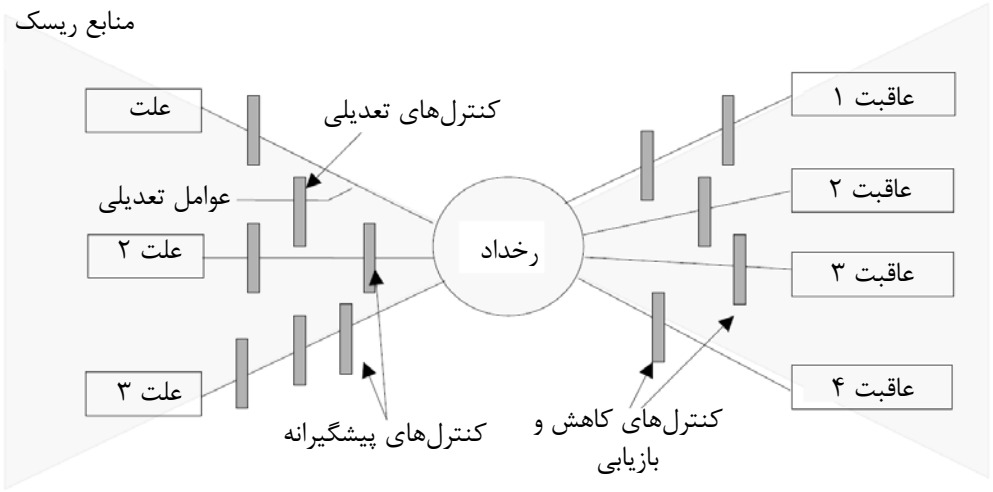
چ) موانع عواقب به صورت خطوطی در طول خطوط شعاعی ترسیم می‌شوند. می‌توان از این رویکرد برای عواقب مثبت در جایی استفاده کرد که خطوط عمودی کنترل‌هایی را منعکس می‌کنند که ایجاد رخداد را پشتیبانی می‌کنند؛

ح) وظایف مدیریتی را که کنترل‌ها را پشتیبانی می‌کنند (مانند آموزش و بازرسی) می‌توان زیر پاپیون و متصل به کنترل مورد نظر نشان داد.

سطحی از کمّی سازی نمودار پاپیونی می‌تواند در جایی که مسیرها مستقل هستند، احتمال عواقب یا پیامدی خاص شناخته شده است و می‌توان رقمی برای اثربخشی کنترل برآورد کرد، ممکن باشد. با این حال در بسیاری از موقعیت‌ها، مسیرها و موانع مستقل نیستند و کنترل‌ها ممکن است مربوط به روش اجرایی باشند و از این رو اثربخشی، روشن نباشد. کمّی سازی اغلب به طور مناسب تری با استفاده از FTA و ETA انجام می‌گیرد.

ب-۲۱-۵ خروجی

خروجی، نموداری ساده است که مسیرهای ریسک اصلی و موانعی را که برای ممانعت از عواقب نامطلوب یا تخفیف آن‌ها یا برانگیختن و ارتقای عواقب مطلوب در کارند، نشان می‌دهد.



شکل ب-۸ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت تحلیل پاپیونی عبارتند از:

- درک آن ساده است و نمایش تصویری روشنی از مشکل ارائه می‌دهد؛
- توجه را به کنترل‌هایی جلب می‌کند که قرار است برای ممانعت و نیز تخفیف و اثربخشی آن‌ها در کار باشند؛
- می توان آن را برای عواقب مطلوب به کار برد؛
- برای استفاده از آن نیاز به سطح بالایی از تخصص نیست.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- نمی تواند ترسیم کند که علل چندگانه در کجا همزمان با علت و عواقب روی می‌دهند (یعنی در جایی که مدخل‌های AND در درخت خرابی موجود هستند که سمت چپ پاپیون را ترسیم می-کنند)؛
- ممکن است موقعیت‌های پیچیده را بیش از حد ساده کند، به ویژه در جایی که برای کمّی سازی تلاش می‌شود.

ب-۲۲ نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان

ب-۲۲-۱ مرور کلی

نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)[1] روشی است برای شناسایی خط مشی‌هایی که بایستی برای مدیریت وقوع خرابی‌ها پیاده سازی شوند تا به طور کارآمد و اثربخش به ایمنی، آمادگی و اقتصاد مورد نیاز بهره برداری برای تمام انواع تجهیزات دست یابند.

RCM در حال حاضر یک متدولوژی به اثبات رسیده و پذیرفته شده است که در گستره وسیعی از صنایع به کار می‌رود.

RCM یک فرآیند تصمیم گیری برای شناسایی الزامات نگهداری قابل کاربرد و اثربخش پیش گیرانه برای تجهیزات، مطابق با عواقب ایمنی، بهره برداری و اقتصادی وقوع خرابی‌های قابل شناسایی و سازوکار مسئول این وقوع خرابی‌ها ارائه می‌دهد. نتیجه نهایی کار کردن در این فرآیند، قضاوت در مورد ضرورت اجرای یک تکلیف نگهداری یا اقدامی دیگر مانند تغییرات بهره برداری است. جزئیات در مورد استفاده و کاربرد RCM در IEC 60300-11 ارائه شده است.

ب-۲۲-۲ استفاده

تمام تکالیف از نظر پرسنل و محیط بر اساس ایمنی و نیز دغدغه‌های بهره برداری یا اقتصادی هستند. با این حال لازم به ذکر است که معیارهای در نظر گرفته شده بسته به ماهیت محصول و کاربردش خواهد بود. مثلاً یک فرآیند تولید نیاز دارد از لحاظ اقتصادی قابل دوام باشد و ممکن است نسبت به مسائل محیطی شدید، حساس باشد، در حالی که قلمی از تجهیزات دفاعی بایستی از نظر بهره برداری موفقیت آمیز باشد، اما ممکن است دارای معیارهای ایمنی، اقتصادی و محیطی با شدت کمتری باشد. بیشترین سود را می‌توان از طریق هدایت تحلیل در جهتی کسب نمود که وقوع خرابی‌ها تاثیرات ایمنی، محیطی، اقتصادی یا بهره بردای جدی دربردارند.

RCM برای حصول اطمینان از اجرای نگهداری قابل کاربرد و اثربخش به کار می‌رود و عموماً در طول فاز طراحی و تکوین به کار می‌رود و سپس در طول بهره برداری و نگهداری پیاده سازی می‌شود.

1- Reliability centered maintenance

ب-۲۲-۳ ورودی

به کارگیری موفقیت آمیز RCM نیاز به درک خوبی از تجهیزات و ساختار، محیط بهره برداری و سیستم‌ها و زیر سیستم‌های مربوطه و اقلام تجهیزات همراه با وقوع خرابی‌های ممکن و عواقب این وقوع خرابی‌ها دارد.

ب-۲۲-۴ فرآیند

گام‌های اساسی برنامه RCM عبارتند از:

- آغاز و طرح ریزی؛
- تحلیل وقوع خرابی وظیفه ای؛
- انتخاب تکلیف؛
- پیاده سازی؛
- بهبود مستمر.

RCM بر اساس ریسک است، چرا که از گام‌های اساسی در ارزیابی ریسک پیروی می‌کند. نوع ارزیابی ریسک، تحلیل مُد وقوع خرابی، تاثیر و خطیر بودن (FMECA) است، اما هنگام استفاده در این فضا، به رویکردی خاص برای تحلیل نیاز دارد.

شناسایی ریسک روی موقعیت‌هایی تمرکز دارد که در آن‌ها وقوع خرابی‌های بالقوه ممکن است حذف شوند یا از نشر فراوانی و/یا عواقب کاهش داده شوند. این کار از طریق انجام تکالیف نگهداری انجام می‌گیرد. این کار با وظایف مورد نیاز شناسایی و استانداردهای اجرا و وقوع خرابی‌های تجهیزات و اجزائی انجام می‌گیرد که ممکن است این وظایف را قطع کنند.

تحلیل ریسک شامل برآورد فراوانی هر وقوع خرابی بدون انجام نگهداری است. عواقب با تعریف تاثیرات وقوع خرابی ایجاد می‌شوند. یک ماتریس ریسک که فراوانی وقوع خرابی و عواقب را ترکیب می‌کند، ایجاد دسته-هایی برای سطوح ریسک را ممکن می‌سازد.

سپس سنجش ریسک با انتخاب خط مشی مدیریت وقوع خرابی مناسب برای هر مُد وقوع خرابی اجرا می-شود.

کل فرآیند RCM به طور گسترده برای مراجعه و بازنگری در آینده مستندسازی می‌شود. مجموعه‌ی داده-های مرتبط با وقوع خرابی و نگهداری پایش نتایج و پیاده سازی بهبودها را مقدور می‌سازد.

ب-۲۲-۵ خروجی

RCM تعریفی از تکالیف نگهداری مانند پایش وضعیت، توان یابی زمان بندی شده، جایگزینی زمان بندی شده، نگهداری یابنده وقوع خرابی یا غیرممانعتی را ارائه می‌دهد. دیگر اقدامات ممکن که می‌توانند حاصل از

تحلیل باشند، ممکن است شامل طراحی مجدد، تغییراتی در روش‌های اجرایی بهره برداری یا نگهداری یا آموزش اضافی شوند. سپس واسطه‌های تکلیف و منابع مورد نیاز شناسایی می‌شوند.

ب-۲۲-۶ مدارک مرجع

IEC 60300-3-11[1], Dependability management – part 3-11: Application guide – Reliability centered maintenance

ب-۲۳ تحلیل پنهان (SA) و تحلیل مدار پنهان (SCI)

ب-۲۳-۱ مرور کلی

تحلیل پنهان (SA) یک متدولوژی برای شناسایی خطاهای طراحی است. وضعیت پنهان، وضعیت نهفته‌ی سخت افزار، نرم افزار یا ترکیبی از این دو است که ممکن است سبب وقوع رخدادی نامطلوب شود یا ممکن است از رخدادی مطلوب جلوگیری کند و علت آن وقوع خرابی جزء نیست. ویژگی این وضعیت‌ها، ماهیت تصادفی آن‌ها و قابلیت آن‌ها در فرار از کشف در طول شدیدترین آزمون‌های سیستم استاندارد است. وضعیت‌های پنهان می‌توانند سبب بهره برداری نامناسب، از دست رفتن آمادگی سیستم، تاخیر برنامه‌ای یا حتی مرگ یا آسیب پرسنل شوند.

ب-۲۳-۲ استفاده

تحلیل مدار پنهان (SCA) در اواخر دهه ۱۹۶۰ برای ناسا به منظور تصدیق انسجام و انجام وظیفه طراحی-های آن‌ها تکوین شد. این تحلیل ابزاری مفید برای کشف مسیرهای مدار الکتریکی غیر عمدی بود و در تدبیر راه حل‌هایی برای مجزا ساختن هر وظیفه کمک کننده بود. با این حال با پیشرفت تکنولوژی، ابزارهای تحلیل مدار پنهان نیز باید پیشرفت می‌کردند. تحلیل پنهان شامل پوشش تحلیل مدار پنهان بوده و کاملا از آن فراتر می‌رود. می‌تواند محل مشکلات را با استفاده از تکنولوژی در سخت افزار و همچنین نرم افزار تعیین کند. ابزارهای تحلیل پنهان می‌توانند تحلیل‌های متعددی را مانند درخت‌های خرابی، تحلیل مُد وقوع خرابی و تاثیرات(FMEA) برآوردهای قابلیت اطمینان و غیره در تحلیلی واحد بگنجانند و در زمان و هزینه-های پروژه صرفه جویی کنند.

ب-۲۳-۳ ورودی

تحلیل پنهان از فرآیند طراحی، منحصر به فرد است، چرا که از ابزارهای متفاوتی (درخت‌های شبکه، جنگل-ها و نشانه‌ها یا پرسش‌هایی برای کمک به تحلیل گر در شناسایی وضعیت‌های پنهان) برای یافتن نوع خاص مشکل، استفاده می‌کند. درخت‌های شبکه و جنگل‌ها گروه بندی‌های توپولوژیک سیستم حقیقی هستند. هر درخت شبکه نمایشگر یک وظیفه فرعی است و تمام ورودی‌هایی را نشان می‌دهد که ممکن است بر خروجی

۱- استاندارد ملی ایران-آی ای سی ۱۱-۳-۶۰۳۰۰: ۱۳۸۸، مدیریت قابلیت اعتماد-قسمت ۳-۱۱: راهنمای کاربرد- نگهداری متمرکز بر قابلیت اطمینان مدیریت قابلیت اعتماد-قسمت ۳-۱۱: راهنمای کاربرد- نگهداری متمرکز بر قابلیت اطمینان با استفاده از منبع IEC 60300-3-11: 2009 موجود است

وظیفه فرعی اثر بگذارند. جنگل‌ها با ترکیب درخت‌های شبکه‌ای ساخته می‌شوند که به خروجی سیستمی خاص کمک می‌کنند. جنگل مناسب، خروجی سیستم را از نظر تمام ورودی‌های مرتبط آن نشان می‌دهد. این موارد به علاوه موارد دیگر ورودی تحلیل می‌شوند.

ب-۲۳-۴ فرآیند

گام‌های اساسی در اجرای یک تحلیل پنهان عبارتند از:

- آماده سازی داده‌ها؛
- ساخت درخت شبکه؛
- سنجش مسیرهای شبکه؛
- توصیه‌ها و گزارش نهایی.

ب-۲۳-۵ خروجی

مدار پنهان، مسیر یا جریان منطقی غیر قابل انتظاری درون سیستمی است که تحت وضعیتی خاص، می-تواند وظیفه‌ای نامطلوب را آغاز نموده یا مانع وظیفه‌ای مطلوب شود. مسیر، ممکن است شامل سخت افزار، نرم افزار، اقدامات اپراتور یا ترکیباتی از این عناصر شود. مدارهای پنهان نتیجه وقوع خرابی سخت افزار هستند، اما وضعیت‌های نهفته‌ای هستند که به طور غیرعمد در سیستم طراحی شده اند و در برنامه نرم افزاری کدبندی شده اند یا ناشی از خطای انسانی هستند. چهار دسته مدار پنهان موجود هستند:

الف) مسیرهای پنهان: مسیرهای غیر قابل انتظار که در طول آن‌ها جریان، انرژی یا توالی منطقی در جهتی نامطلوب جریان می‌یابند؛

ب) زمان بندی پنهان: رخدادهایی که در توالی غیر قابل انتظار یا متناقض روی می‌دهند؛

پ) نمایش‌های پنهان: نمایش‌های مبهم یا نادرست وضعیت‌های بهره برداری سیستم که ممکن است سبب شود سیستم یا اپراتور اقدام نامطلوبی را انجام دهد؛

ت) برچسب‌های پنهان: برچسب زنی نادرست یا غیر دقیق وظایف سیستم، مثلاً ورودی‌های سیستم، کنترل-ها، گذرگاه‌های نمایش که ممکن است سبب شوند اپراتور، محرکی نادرست را در سیستم به کار برد.

ب-۲۳-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت عبارتند از:

- تحلیل پنهان برای شناسایی خطاهای طراحی خوب است؛
- هنگامی که در ارتباط با HAZOP به کار می‌رود، به بهترین نحو کار می‌کند؛
- برای پرداختن به سیستم‌هایی که حالت‌های چند گانه‌ای مانند کارخانه تولیده پیوسته و نیمه پیوسته دارند، بسیار خوب است.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- فرآیند تا حدی بسته به این که آیا در مدارهای الکتریکی، کارخانه‌های فرآیند، تجهیزات مکانیکی یا نرم افزار به کار می‌رود، متفاوت است؛
- روش وابسته به ایجاد درخت‌های شبکه صحیح است.

ب-۲۴ تحلیل مارکوف

ب-۲۴-۱ مرور کلی

تحلیل مارکوف در جایی به کار می‌رود که حالت آتی سیستم تنها بسته به حالت فعلی آن است. این تحلیل به طور رایج برای تحلیل سیستم‌های قابل تعمیری به کار می‌رود که می‌توانند در چندین حالت وجود داشته باشند و استفاده از تحلیل دیاگرام بلوکی قابلیت اطمینان (RBD[1]) برای تحلیل کافی سیستم نامناسب است. این روش را می‌توان از طریق به کار گیری فرآیندهای مارکوف رده بالاتر به سیستم‌های پیچیده تر بسط داد و تنها از طریق مدل، محاسبات و مفروضات ریاضیاتی محدود می‌شود.

فرآیند تحلیل مارکوف، تکنیکی کمّی است و می‌تواند گسسته (با استفاده از احتمالات تغییر بین حالت‌ها) یا پیوسته (با استفاده از نرخ‌های تغییر در حالت‌ها) باشد.

با این که تحلیل مارکوف را می‌توان با دست اجرا کرد، ماهیت این تکنیک قابلیت استفاده از برنامه‌های رایانه‌ای را داراست که بسیاری از این برنامه‌ها در بازار موجودند.

ب-۲۴-۲ استفاده

تکنیک تحلیل مارکوف را می‌توان در ساختارهای سیستم مختلفی با تعمیر یا بدون تعمیر، به کار برد، از جمله:

- اجزاء مستقل به طور موازی؛
- اجزاء مستقل به صورت سری؛
- سیستم تسهیم بار؛
- سیستم آماده به خدمت، از جمله موردی که در آن ممکن است تغییر وقوع خرابی روی دهد؛
- سیستم‌های تنزل یافته.

تکنیک تحلیل مارکوف همچنین می‌تواند برای محاسبه آمادگی به کار رود، از جمله محاسبه‌ی اجزاء یدکی برای تعمیرات.

1 - Reliability Block Diagram

ب-۲۴-۳ ورودی

ورودی‌های ضروری برای تحلیل مارکوف عبارتند از:

- فهرستی از حالت‌های مختلف که سیستم، زیرسیستم یاجزء می‌تواند در آن‌ها باشد (مثلاً در حال بهره برداری کامل، بهره برداری جزئی (یعنی حالت تنزل یافته)، حالت خراب و غیره)؛
- درکی روشن از گذارهایممکن که ضروری است مدلسازی شوند. مثلاً وقوع خرابی نوعی خودرو نیاز است حالت چرخ زاپاس و از این رو فراوانی بازرسی را در نظر بگیرد؛
- نرخ تغییر از یک حالت به حالت دیگرکه به ویژه به احتمال تغییر بین حالت‌ها برای رخدادهای گسسته یا نرخ وقوع خرابی (λ) و/یا نرخ تعمیر (μ) برای رخدادهای پیوسته، نمایش داده می‌شود.

ب-۲۴-۴ فرآیند

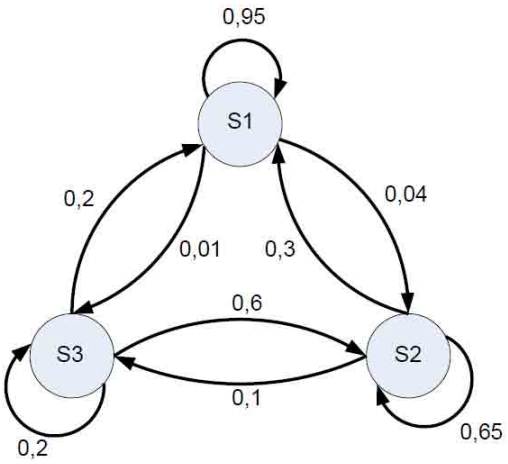
تکنیک تحلیل مارکوف حول مفهوم " حالت‌ها"، مثلاً "آماده" و "خراب" و گذار بین این دو حالت در طول زمان بر اساس احتمال ثابت تغییر، متمرکز است. یک ماتریس احتمال گذاری تصادفی برای توصیف گذار بین هر یک از حالت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد تا محاسبه خروجی‌های مختلف را ممکن سازد.

برای تشریح تکنیک تحلیل مارکوف، سیستمی پیچیده را در نظر بگیرید که تنها می‌تواند در سه حالت باشد: در حال انجام وظیفه، تنزل یافته و خراب شده. این حالت‌ها به توالی با عنوان S1، S2، S3 تعریف می‌شوند. هر روز، سیستم تنها در یکی از این حالت‌ها وجود دارد. جدول ب-۳ این احتمال را نشان می‌دهد که فردا سیستم در حالت Si باشد در حالی که i می‌تواند ۱، ۲ یا ۳ 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 آرایه احتمالات ماتریس مارکوف یا ماتریس گذار نام دارد. توجه داشته باشید که مجموعه هر ستون ۱ است، چرا که مجموعه‌ی تمام برآمدهای احتمالی در هر مورد است. سیستم را همچنین می‌توان با نمودار مارکوف نمایش داد که در آن دایره‌ها نمایشگر حالت‌ها هستند و فلش‌ها نمایشگر گذار همراه با احتمال آن هستند.



شکل ب-۹ مثالی از نمودار مارکوف سیستم

معمولاً فلش‌ها از حالتی به خودش نشان داده نمی‌شوند، اما در این مثال‌ها برای جامع بودن نشان داده می-شوند.

اگر Pi نمایش دهنده احتمال یافتن سیستم در حالت i برای ۳و۲ و ۱= i باشد، آن گاه معادلاتی که قرار است به طور همزمان حل شوند، عبارتند از:

$$P1 = 0,95\ P1 + 0,30\ P2 + 0,20\ P3 \qquad (ب-۱)$$

$$P2 = 0,04\ P1 + 0,65\ P2 + 0,60\ P3 \qquad (ب-۲)$$

$$P3 = 0,01\ P1 + 0,05\ P2 + 0,20\ P3 \qquad (ب-۳)$$

این سه معادله مستقل نیستند و سه مجهول را به دست نمی‌آورند. معادله زیر بایستی مورد استفاده قرار گیرد و یکی از معادلات بالا بایستی کنار گذاشته شود.

$$1 = P1 + P2 + P3 \qquad (ب-۴)$$

پاسخ به ترتیب برای حالت‌های ۱، ۲، ۳، برابر است با ۰٫۸۵ ، ۰٫۱۳ و ۰٫۰۲. سیستم در ٪۸۵ مواقع کاملا انجام وظیفه می‌کند، ٪۱۳در حالت تنزل یافته و ٪۲ در حالت خراب شده، انجام وظیفه می‌کند.

دو قلم را در نظر بگیرید که به طور موازی بهره برداری می‌شوند و یکی از آن‌ها باید قابل بهره‌برداری باشد تا سیستم بتواند انجام وظیفه کند. اقلام می‌توانند یا قابل بهره برداری باشند و یا خراب و آمادگی سیستم بسته به حالت اقلام است.

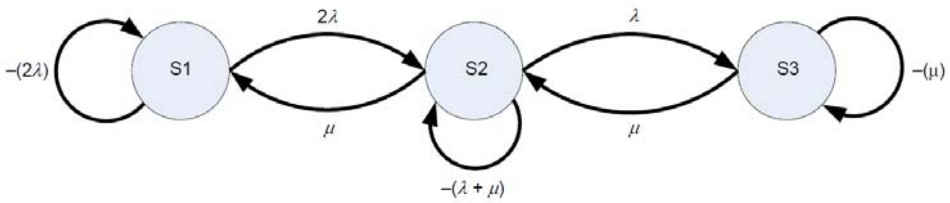
حالت‌ها را می‌توان به صورت موارد زیر در نظر گرفت:

حالت ۱ – هر دو قلم به درستی انجام وظیفه می‌کنند؛

حالت ۲ – یک قلم خراب شده و تحت تعمیر است و قلم دیگر در حال انجام وظیفه است؛

حالت ۳ – هر دو قلم خراب شده اند و یکی از آن‌ها تحت تعمیر است.

اگر نرخ وقوع خرابی پیوسته برای هر قلم λ و نرخ تعمیر μ فرض شود، آن گاه نمودار گذار حالت از این قرار است:



شکل ب-۱۰ مثالی از نمودار گذار حالت

توجه داشته باشید که گذار از حالت ۱ به حالت ۲، λ ۲ است، چرا که وقوع خرابی هر یک از دو قلم سیستم را به حالت ۲ می‌برد.

Pi(t)، احتمال قرار داشتن در حالت اولیه *i در زمان t* است،

Pi(t+δt) احتمال قرار داشتن در حالت نهایی در زمان *(t+δt)/ست*

ماتریس احتمال گذار می‌شود:

جدول ب-۳ ماتریس نهایی مارکوف

		حالت اولیه		
		P1(t)	P2(t)	P3(t)
حالت نهایی	P1 (t + δt)	-2 λ	μ	0
	P2 (t + δt)	λ2	- (λ + μ)	μ
	P3 (t + δt)	0	λ	-μ

شایان ذکر است که مقادیر صفر به این دلیل رخ می‌دهند که رفتن از حالت ۱ به حالت ۳ یا از حالت ۳ به حالت ۱ ممکن نیست. همچنین در مشخص کردن نرخ‌ها، مجموع ستون‌ها برابر با ۰ است.

معادلات همزمان می‌شوند:

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

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

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

به منظور سادگی فرض می‌شود که میزان آمادگی مورد نیاز، آمادگی حالت پایدار است.

هنگامی که δt به بی نهایت نزدیک می‌شود، dP/d*t* به صفر نزدیک می‌شود و معادلات راحت تر حل می‌شوند. معادله اضافی، چنان که در معادله (ب-۴) در بالا نشان داده شده است نیز بایستی مورد استفاده قرار گیرد:

حال معادله $A(t) = P1\ (t) + P2\ (t)$ را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$A = P1 + P2$$

پس

$$A = (\mu 2 + 2\,\lambda\,\mu\,) / (\,\mu 2 + 2\,\lambda\,\mu + \lambda 2)$$

ب-۲۴-۵ خروجی

خروجی تحلیل مارکوف احتمالات مختلف قرار گرفتن در حالت‌های مختلف و در نتیجه برآوردی از احتمالات وقوع خرابی و/یا آمادگی، یکی از اجزاء ضروری سیستم، می‌باشد.

ب-۲۴-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت تحلیل مارکوف عبارتند از:

- توانایی محاسبه احتمالات سیستم‌ها با توانمندی تعمیر و حالت‌های تنزل یافته چندگانه.

محدودیت‌های تحلیل مارکوف عبارتند از:

- مفروضات احتمالات پیوسته تغییر حالت، وقوع خرابی یا تعمیرات؛
- تمام رخدادها از لحاظ آماری مستقل هستند، چرا که حالت‌های آینده مستقل از تمام حالت‌های گذشته هستند، به جز حالت بلافاصله قبلی؛
- به دانش تمام احتمالات تغییر حالت نیاز دارد؛
- دانش کارکردن با ماتریس؛
- نتایج را به سختی می‌توان با پرسنل غیر فنی تبادل نمود.

ب-۲۴-۷ مقایسه ها

شباهت تحلیل مارکوف به تحلیل شبکه‌ی پتری در این است که قادر است حالت‌های سیستم را پایش و مشاهده کند و تفاوتشان در این است که شبکه‌ی پتری می‌تواند در زمان واحد در چندین حالت مختلف وجود داشته باشد.

ب-۲۴-۸ مدرک مرجع

IEC 61078[1], Analysis techniques for dependability – Reliability block diagram and Boolean methods

IEC 61165[2], Application of Markov techniques

ISO/IEC 15909 (all parts)[1], Software ans systems engineering – High level Petri nets

---

۱- استاندارد ملی ایران-آی ای سی ۶۱۰۷۸: ۱۳۸۸، فنون تحلیل قابلیت اعتماد -نمودار بلوکی و روشهای بولی قابلیت اطمینان با استفاده از منبع IEC 61078: 2006 موجود است.

۲- استاندارد ملی ایران به شماره‌ی ۱۱۷۴۸: ۱۳۸۷، کاربرد فنون مارکوف با استفاده از منبع IEC 61165: 2006 موجود است.

ب-۲۵ شبیه سازی مونت کارلو

ب-۲۵-۱ مرور کلی

بسیاری از سیستم‌ها بسیار پیچیده هستند و تاثیرات عدم قطعیت بر آن‌ها را نمی‌توان با استفاده از تکنیک-های تحلیلی مدل سازی نمود، اما می‌توان آن‌ها را با در نظر گرفتن ورودی‌ها به عنوان متغیرهای تصادفی و اجرای تعداد N محاسبه (که شبیه سازی نام دارند) از طریق نمونه گیری ورودی به منظور کسب N برآمد ممکن از نتیجه مطلوب، سنجید.

این روش می‌تواند به موقعیت‌هایی پیچیده بپردازد که درک و حل آن‌ها از طریق روشی تحلیلی بسیار مشکل است. سیستم‌ها را می‌توان با استفاده از صفحات گسترده و دیگر ابزارهای رایج تکوین نمود، اما ابزارهایی پیچیده تر برای کمک در نیازهای پیچیده تر در دسترس هستند. بسیاری از این ابزارها در حال حاضر قیمت نسبتاً پایینی دارند. هنگامی که این تکنیک در ابتدا تکوین شد، تعداد تکرار مورد نیاز برای شبیه سازی‌های مونت کارلو فرآیند را آهسته و زمان گیر می‌کرد، اما پیشرفت در رایانه و تکوین‌های نظری، از قبیل نمونه گیری ابرمکعب لاتین[۲] زمان پردازش را برای بسیاری از برنامه‌های کاربردی تقریبا ناچیز کرده اند.

ب-۲۵-۲ استفاده

شبیه سازی مونت کارلو روشی برای سنجش تاثیر عدم قطعیت بر سیستم‌ها در گستره وسیعی از موقعیت‌ها فراهم می‌سازد. این شبیه سازی معمولاً برای سنجش گستره‌ای از برآمدهای ممکن و فراوانی نسبی مقادیر در این گستره برای مقیاس‌های کمّی سیستم، مانند هزینه، مدت، توان عملیاتی، تقاضا و دیگر مقیاس‌ها به کار می‌رود. شبیه سازی مونت کارلو را می‌توان برای دو مقصود مختلف به کار برد:

- گسترش عدم قطعیت در مدل‌های تحلیلی رایج؛
- محاسبات احتمالی، هنگامی که تکنیک‌های تحلیلی کار نمی‌کنند.

ب-۲۵-۳ ورودی

ورودی به شبیه سازی مونت کارلو مدل خوبی از سیستم و اطلاعات در مورد انواع ورودی‌ها، منابع عدم قطعیتی که قرار است نمایش داده شوند و خروجی مورد نیاز می‌باشد. داده‌های ورودی با عدم قطعیت به صورت متغیرهای تصادفی با توزیعاتی نمایش داده می‌شوند که کم و بیش طبق سطح عدم قطعیت‌ها گسترش یافته اند. توزیع‌های یک شکل، مثلثی، عادی و ثبت عادی اغلب برای این مقصود به کار می‌روند.

۱- استاندارد ملی ایران به شماره ۲و۱-۱۵۹۰۹: ۱۳۹۰ با استفاده از منابع ISO-IEC15909-1-2004-AMD-2010 و ISO-IEC15909-2-2011 موجود می‌باشد و استاندراد بین‌المللی ISO-IEC 15909-3 در دست تدوین می‌باشد.

2- latin hypercube sampling

ب-۲۵-۴ فرآیند

فرآیند از این قرار است:

الف) مدل یا الگوریتمی تعریف می‌شود که تا حد ممکن رفتار سیستم مورد مطالعه را نمایش می‌دهد؛

ب) مدل چندین بار با استفاده از اعداد تصادفی اجرا می‌شود تا خروجی‌هایی از مدل را ایجاد نماید (شبیه سازی‌های سیستم). در جایی که برنامه کاربردی قرار است تاثیرات عدم قطعیت را مدل سازی کند، مدل، به شکل معادله‌ای است که رابطه بین پارمترهای ورودی و خروجی را فراهم می‌سازد. مقادیر انتخاب شده برای ورودی‌ها از توزیعات احتمال مناسبی گرفته می‌شوند که نمایشگر ماهیت عدم قطعیت در این پارامترها هستند؛

پ) در هر حال، رایانه مدل را چندین بار (اغلب تا ۱۰۰۰۰ بار) با ورودی‌های مختلف اجرا می‌کند و خروجی-های متعددی تولید می‌کند. این خروجی‌ها را می‌توان با استفاده از آمار معمول پردازش نمود تا اطلاعاتی از قبیل مقادیر میانگین، انحراف معیار، بازه‌های اطمینان را فراهم ساخت.

مثالی از شبیه سازی در ذیل ارائه شده است.

دو قلم را در نظر بگیرید که به طور موازی بهره برداری می‌شوند و تنها یکی از آن‌ها برای انجام

وظیفه سیستم مورد نیاز است. قلم اول دارای قابلیت اطمینان ۰٫۹ و دیگری، دارای قابلیت اطمینان ۰٫۸ است.

می توان صفحه گسترده‌ای را با ستون‌های زیر تهیه کرد.

جدول ب-۴ مثالی از شبیه سازی مونت کارلو

	قلم ۲		قلم ۱		
سیستم	آیا انجام وظیفه می‌کند؟	عدد تصادفی	آیا انجام وظیفه می‌کند؟	عدد تصادفی	عدد شبیه سازی
۱	بله	۰٫۰۵۹۳۵۵	بله	۰٫۵۷۷۲۴۳	۱
۱	بله	۰٫۳۱۱۳۲۴	بله	۰٫۷۴۶۹۰۹	۲
۱	خیر	۰٫۹۱۹۷۶۵	بله	۰٫۵۴۱۷۲۸	۳
۱	بله	۰٫۶۴۳۵۱۴	بله	۰٫۴۲۳۲۷۴	۴
۱	بله	۰٫۵۳۹۳۴۹	خیر	۰٫۹۱۷۷۷۶	۵
۰	خیر	۰٫۹۷۲۵۰۶	خیر	۰٫۹۹۴۰۴۳	۶
۱	خیر	۰٫۹۵۰۲۴۱	بله	۰٫۰۸۲۵۷۴	۷
۱	خیر	۰٫۹۱۹۸۶۹	بله	۰٫۶۶۱۱۱۸	۸
۱	بله	۰٫۳۶۷۵۵۵	بله	۰٫۲۱۳۳۷۶	۹
۱	بله	۰٫۱۱۹۲۱۵	بله	۰٫۵۶۵۶۵۷	۱۰

تولید کننده‌ی اعداد تصادفی عددی بین ۰ و ۱ ایجاد می‌کند که برای مقایسه با احتمال هر قلم به کار می-رود تا تعیین کند که آیا سیستم در حال بهره برداری است. تنها با ۱۰ اجرا، نبایستی انتظار رود که ۰/۹ نتیجه‌ای درست باشد. رویکرد معمول گنجاندن یک محاسبه‌گر برای مقایسه نتیجه کل در حین پیشروی شبیه سازی برای دستیابی به سطح درستی مورد نیاز است. در این مثال نتیجه ۰/۹۷۹۹ پس از ۲۰۰۰۰ تکرار به دست آمد.

مدل بالا را می‌توان به طرق مختلفی بسط داد. مثلا:

- با بسط دادن خود مدل (مانند در نظر گرفتن این که قلم دوم، هنگامی که قلم اول خراب می‌شود، بلافاصله بهره برداری می‌شود)؛
- با تغییر احتمال ثابت به یک متغیر (یک مثال خوب توزیع مثلثی است) هنگامی که نمی‌توان احتمال را به درستی تعریف نمود؛
- استفاده از نرخ‌های وقوع خرابی که با تصادفی ساز ترکیب می‌شوند تا زمان وقوع خرابی را به دست آورند (توزیع نمایی، وایبول یا توزیع مناسب دیگری) و زمان تعمیر را بگنجانند.

تکنیک‌های تحلیلی شامل ارزیابی عدم قطعیت در پیش بینی‌های مالی، عملکرد سرمایه گذاری، هزینه پروژه و پیش بینی‌های برنامه زمانبندی، قطع فرآیند کسب و کار و الزامات کارکنان و غیره هستند.

تکنیک‌های تحلیلی قادر به فراهم ساختن نتایج مرتبط نیستند یا به عبارت دیگر هنگامی که عدم قطعیتی در داده‌های ورودی وجود داشته باشد، این عدم قطعیت در خروجی نیز وجود نخواهد داشت.

ب-۲۵-۵ خروجی

خروجی می‌تواند مقدار واحدی باشد، چنان که در مثال بالا تعیین شده است، می‌تواند نتیجه‌ای باشد که به عنوان احتمال یا توزیع فراوانی نشان داده می‌شود یا می‌تواند شناسایی عوامل اصلی در مدل باشد که بیشترین پیامد را بر خروجی دارند.

به طور کلی، شبیه سازی مونت کارلو برای ارزیابی کل توزیع برآمد هایی که ممکن است رخ دهند یا مقیاس‌های کلیدی از توزیع به کار می‌رود، از جمله:

- احتمال رخداد برآمدی تعریف شده؛
- مقدار یک برآمد که در آن سطح معینی از اعتماد وجود دارد، مبنی بر این که از این سطح تجاوز نمی‌شود، هزینه‌ای برای این که کمتر از ٪۱۰ احتمال تجاوز از آن وجود دارد یا مدتی که برای آن به احتمال ٪۸۰ از آن تجاوز می‌شود.

تحلیلی از روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌تواند اهمیت نسبی عواملی را که در کارند، روشن کند و اهداف مفیدی برای تلاش‌ها شناسایی کند تا بر عدم قطعیت در برآمد، اثر بگذارند.

ب-۲۵-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت تحلیل مونت کارلو عبارتند از:

- این روش در اصل می‌تواند هر توزیعی در متغیر ورودی را تطبیق دهد، از جمله توزیعات تجربی که از مشاهدات سیستم‌های مرتبط به دست آمده اند؛
- تکوین مدل‌ها نسبتاً ساده است و در صورت نیاز می‌توان آن‌ها را بسط داد؛
- هر تاثیر یا رابطه‌ای که در حقیقت روی دهد، قابل نمایش است، از جمله تاثیرات جزئی از قبیل وابستگی‌های شرطی؛
- تحلیل حساسیت را می‌توان برای شناسایی تاثیرات قوی و ضعیف به کار برد؛
- مدل‌ها را به آسانی می‌توان درک کرد، چرا که رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌ها شفاف است؛
- مدل‌های رفتاری کارآمد از قبیل شبکه‌های پتری (IEC 62551) موجودند که ثابت شده برای مقاصد شبیه سازی مونت کارلو بسیار کارآمد هستند؛
- مقیاسی برای درستی نتیجه ارائه می‌دهد؛
- نرم افزار به سهولت در دسترس قرار می‌گیرد و نسبتاً ارزان قیمت است.

محدودیت‌ها عبارتند از:

- درستی راه حل‌ها به تعداد شبیه سازی‌هایی بستگی دارد که می‌توان اجرا کرد (این محدودیت با افزایش سرعت رایانه‌ها، کم اهمیت تر می‌شود)؛
- روی توانایی اش در نمایش عدم قطعیت‌ها در پارامترها از طریق توزیعی معتبر، تکیه دارد؛
- مدل‌های بزرگ و پیچیده ممکن است برای مدل ساز چالش انگیز باشند و علاقمندان به سختی بتوانند در فرآیند شرکت کنند؛
- این تکنیک ممکن است کفایت رخدادهای عواقب بالا/احتمال پایین را درنظر نگیرد و بنابراین اجازه ندهد رغبت به ریسک سازمان، در تحلیل منعکس شود.

ب-۲۵-۷ مدارک مرجع

IEC 61649[1], Weibull analysis

IEC 62551[۲], Analysis techniques for dependability – Petri net techniques

۱- استاندارد ملی ایران به شماره‌ی ۱۱۷۴۶: ۱۳۸۷، تحلیل وایبول با استفاده از منبع IEC 61649: 2008 موجود است

۲- توسط کمیته فنی IEC TC56 در حال تدوین می‌باشد.

ب-۲۶ آمار بیزی و شبکه‌های بیز

ب-۲۶-۱ مرور کلی

آمار بیزی را به کشیش توماس بیز نسبت می‌دهند. فرض آن بر این است که هر اطلاعات شناخته شده (موارد قبلی) را می‌توان با اندازه گیری بعدی (پسین) ترکیب نمود تا احتمالی کلی را ایجاد کرد. عبارت کلی قضیه بیز را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$P(A\left|B\right.)=\{P(A)P(B\left|A\right.)\}/\sum_i P(B\left|E_i\right.)P(E_i)$$

که در آن

احتمال X با P(X) نشان داده می‌شود؛

احتمال X به شرط آن که Y رخ داده باشد با P(X|Y) نشان داده می‌شود؛

E_i، i مین رخداد است.

این عبارت در ساده ترین حالت به این صورت کوتاه می‌شود:

$$P(A\left|B\right.)=\{P(A)P(B\left|A\right.)\}/P(B)$$

آمار بیزی از این نظر با آمار کلاسیک متفاوت است که فرض نمی‌کند تمام پارامترهای توزیع، ثابت هستند، بلکه پارامترها متغیرهایی تصادفی هستند. اگر احتمال بیزی را میزان اعتقاد فردی به رخدادی معین در مقابل احتمال کلاسیک بدانیم که بر اساس شواهد فیزیکی است، درک آن آسان تر می‌شود. از آنجا که رویکرد بیزی بر اساس تعبیر ذهنی احتمال است، مبنایی آماده برای تفکر تصمیمی و تکوین نت‌های بیزی (یا نت‌های اعتقاد، شبکه‌های اعتقاد یا شبکه‌های بیزی) فراهم می‌سازد.

نت‌های بیز از مدلی گرافیکی برای نمایش مجموعه‌ای از متغیرها و روابط احتمالی آن‌ها استفاده می‌کنند. شبکه از گره‌هایی تشکیل شده است که نمایشگر متغیری تصادفی هستند و همچنین فلش‌هایی که گره مادر را به گره فرزند متصل می‌سازند (در جایی که گره والد متغیری است که مستقیما بر متغیر (فرزند) دیگری اثر می‌گذارد).

ب-۲۶-۲ استفاده

در سال‌های اخیر، استفاده از نظریه و شبکه‌های بیز رواج یافته است، تا حدی به دلیل جاذبه ذاتی آن‌ها و نیز در دسترس بودن ابزارهای محاسبه نرم افزاری. شبکه‌های بیز در گستره وسیعی از موضوعات مورد استفاده قرار گرفته اند: تشخیص پزشکی، مدل سازی تصویر، علم ژنتیک، تشخیص گفتار، اقتصاد، کاوش‌های فضایی و در موتورهای جستجوی وب قدرتمندی که امروزه به کار می‌روند. آنها می‌توانند در هر حوزه‌ای که نیاز به اطلاع یافتن از متغیرهای نشناخته از طریق بهره برداری از روابط ساختاری و داده‌ها هست، ارزشمند باشند.

نت‌های بیز را می‌توان برای یادگیری روابط علّی به منظور ارائه درکی از حوزه یک مشکل و پیش بینی عواقب مداخله، به کار برد.

ب-۲۶-۳ ورودی

ورودی‌ها شبیه به ورودی‌های مدل مونت کارلو هستند. برای شبکه‌ی بیز، مثال‌هایی از گام‌هایی که اجرا می-شوند، عبارتند از:

- تعریف متغیرهای سیستم؛
- تعریف اتصالات علّی بین متغیرها؛
- مشخص نمودن احتمالات شرطی و قبلی؛
- افزودن شواهد به نت؛
- اجرای به روز کردن اعتقاد؛
- استخراج اعتقادات پسین.

ب-۲۶-۴ فرآیند

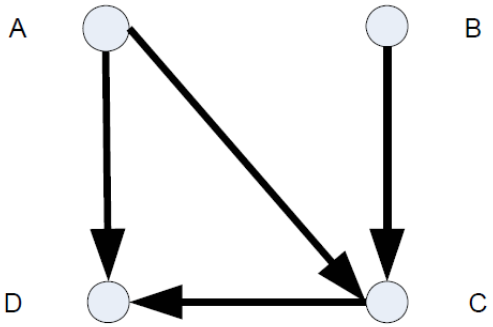
نظریه بیز را می‌توان به طرق مختلفی به کار برد. این مثال تهیه جدول بیز را در نظر می‌گیرد که در آن یک آزمایش پزشکی برای تعیین این که آیا فرد مبتلا به بیماری است، به کار می‌رود. پیش از انجام آزمایش، اعتقاد بر این است که ٪۹۹ جامعه به این بیماری مبتلا نیستند و ٪۱ مبتلا هستند، یعنی اطلاعات پیشین. درستی آزمایش نشان داده است که اگر فرد بیمار باشد، نتیجه آزمایش در ٪۹۸ مواقع، مثبت است. همچنین این احتمال وجود دارد که اگر فرد بیمار نباشد، در ٪۱۰ مواقع نتیجه مثبت باشد. جدول بیز اطلاعات زیر را ارائه می‌دهد:

جدول ب-۵ داده‌های جدول بیز

	پیشین	احتمال	حاصل ضرب	پسین
بیمار	۰٫۰۱	۰٫۹۸	۰٫۰۰۹۸	۰٫۰۹۰۱
بدون بیماری	۰٫۹۹	۰٫۱۰	۰٫۰۹۹۰	۰٫۹۰۹۹
مجموع	۱		۰٫۱۸۰۸	۱

با استفاده از قانون بیز، محصول با ترکیب پیشین و احتمال تعیین می‌شود. پسین با تقسیم مقدار محصول به کل محصول به دست می‌آید. خروجی نشان می‌دهد که نتیجه آزمایش مثبت بدین معناست که پیشین از ٪۱ به ٪۹ افزایش یافته است. مهمتر این است که احتمالی قوی وجود دارد مبنی بر این که حتی با یک آزمایش مثبت، ابتلا به بیماری غیر محتمل است. مقدار نتایج مثبت نقشی اصلی در مقادیر پسین ایفا می-کند.

شبکه‌ی بیز زیر را در نظر بگیرید:



شکل ب-۱۱ نمونه‌ای از شبکه‌ی بیز

با تعریف احتمالات پیشین شرطی در جداول زیر و استفاده از این نوشتار که Y نشان دهنده مثبت و N نشان دهنده منفی است، مثبت می‌تواند "ابتلا به بیماری" باشد مانند مورد فوق یا می‌تواند "بالا" باشد و N می‌تواند "پایین" باشد.

جدول ب-۶ احتمالات پیشین برای گره‌های الف و ب

P(*B* = *N*)	P(*B* = *Y*)	P(*A* = *N*)	P(*A* = *Y*)
0,4	0,6	0,1	0,9

جدول ب-۷ احتمالات شرطی برای گره پ با تعریف گره الف و گره ب

A	B	P(C = Y)	P(C = N)
Y	Y	0,5	0,5
Y	N	0,9	0,1
N	Y	0,2	0,8
N	N	0,7	0,3

جدول ب-۸ احتمالات شرطی برای گره ت با تعریف گره الف و گره پ

A	C	P(D = Y)	P(D = N)
Y	Y	0,6	0,4
Y	N	1,0	0,0
N	Y	0,2	0,8
N	N	0,6	0,4

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

با استفاده از قانون بیز مقدار P(D|A,C)P(C|A,B)P(A)P(B) چنان که در ذیل نشان داده شده، تعیین می‌شود و ستون آخر احتمالات عادی شده را نشان می‌دهد که چنان که در مثال قبلی به دست آمدند، مجموع آنها ۱ است (نتیجه گرد شده است).

جدول ب-۹ احتمال پسین برای گره‌های الف و ب با تعریف گره ت و گره پ

A	B	P(D|A,C)P(C|A,B)P(A)P(B)	P(A,B|D=N,C=Y)
Y	Y	0,4 ∗ 0,5 ∗ 0,9 ∗ 0,6 = 0,110	0,4
Y	N	0,4 ∗ 0,9 ∗ 0,9 ∗ 0,4 = 0,130	0,48
N	Y	0,8 ∗ 0,2 ∗ 0,1 ∗ 0,6 = 0,010	0,04
N	N	0,8 ∗ 0,7 ∗ 0,1 ∗ 0,4 = 0,022	0,08

برای به دست آوردن P(A|D=N, C=Y)، تمام مقادیر ب نیاز است جمع شوند:

جدول ب-۱۰ احتمال پسین برای گره الف با تعریف گره ت و گره پ

P(A=Y|D=N,C=Y)	P(A=N|D=N,C=Y)
0,88	0,12

این نشان می‌دهد که پیشین برای P(A=N) از ۰.۱ به پسین ۰.۱۲ افزایش یافته است که تنها تغییری کوچک است. از سوی دیگر، P(B=N|D=N,C=Y) از ۰.۴ به ۰.۵۶ تغییر یافته که تغییری قابل توجه تر است.

ب-۲۶-۵ خروجی ها

رویکرد بیزی را می‌توان به همان میزان آمار کلاسیک با گستره وسیعی از خروجی‌ها به کار برد، مثلاً تحلیل داده‌ها برای به دست آوردن برآورد کننده نقطه‌ای و بازه‌های اطمینان. محبوبیت اخیر آن مربوط به نت‌های بیز برای به دست آوردن توزیعات پسین است. خروجی گرافیکی مدلی ارائه می‌دهد که به آسانی درک می-شود و داده‌ها را می‌توان به آسانی تعدیل نمود تا همبستگی‌ها و حساسیت پارامترها در نظر گرفته شوند.

ب-۲۶-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت:

- تنها چیزی که مورد نیاز است اطلاعات در مورد پیشین‌ها است؛
- جملات استنتاجی را به راحتی می‌توان فهمید؛
- تنها به قانون بیز نیاز است؛
- سازوکاری برای استفاده از اعتقادات ذهنی در یک مشکل ارائه می‌دهد.

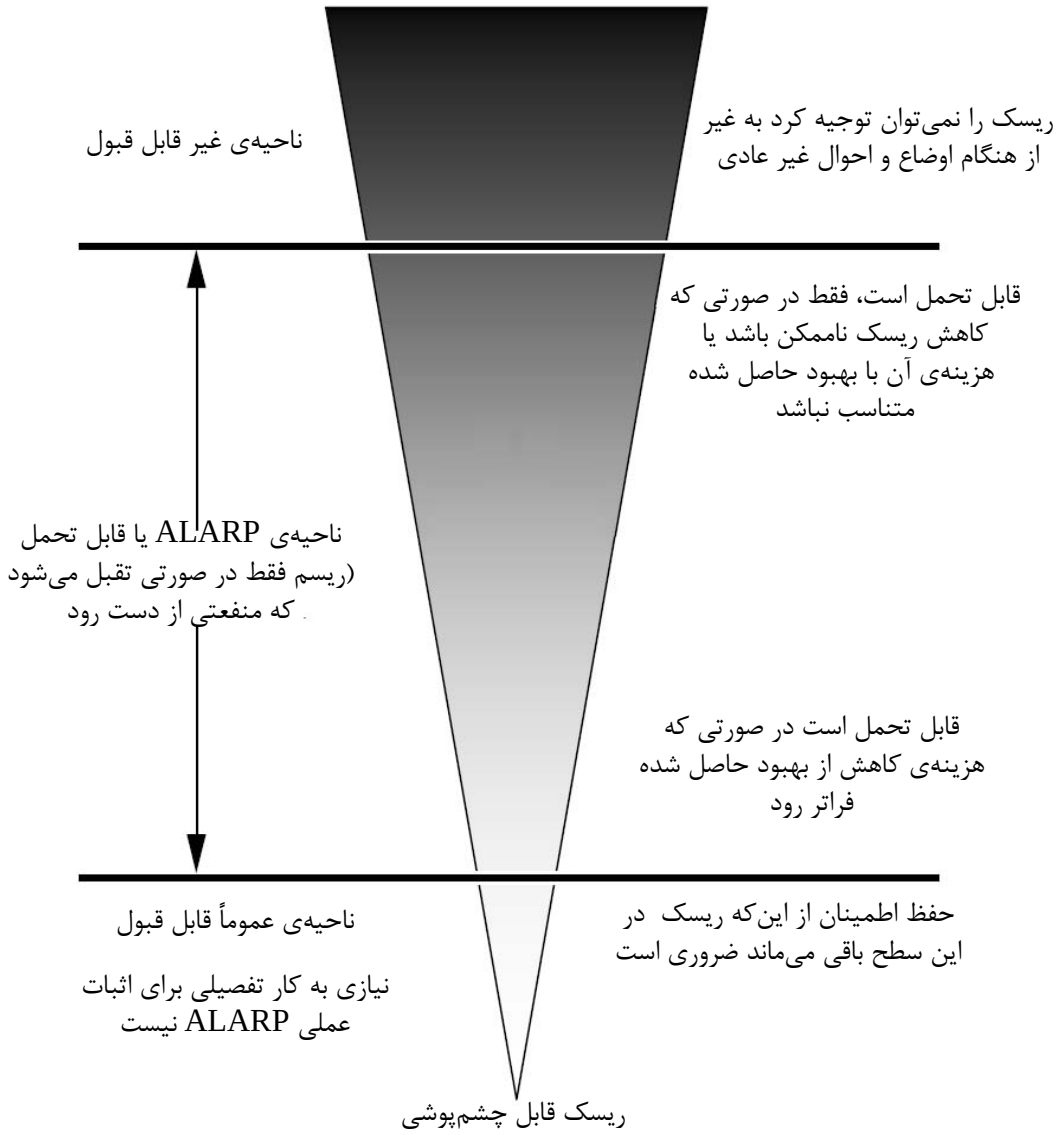
محدودیت ها:

- تعریف تمام تعامل‌ها در شبکه‌های بیز برای سیتم‌های پیچیده مشکل ساز است؛

- رویکرد بیزی نیاز به اطلاعات از تعداد زیادی احتمالات شرطی دارد که معمولاً از طریق قضاوت تخصصی فراهم می‌شوند. ابزارهای نرم افزاری تنها می‌توانند پاسخ‌هایی بر اساس این مفروضات ارائه دهند.

ب-۲۷ منحنی‌های FN

ب-۲۷-۱ مرور کلی



شکل ب-۱۲ مفهوم ALARP

منحنی‌های FN نمایش گرافیکی از احتمالات رخددهایی هستند که سبب سطح مشخصی از آسیب به جامعه‌ای مشخص می‌شوند. این منحنی‌ها اغلب به فراوانی عدد معینی از تلفاتی که رخ می‌دهند، اشاره دارند.

منحنی‌های FN فروانی تجمعی (F) را نشان می‌دهند که در آن N عضو یا بیشتر از جامعه تحت تاثیر قرار خواهند گرفت. مقادیر بالای N که ممکن است با فراوانی بالای F رخ دهد، بسیار جالب هستند، چرا که ممکن است از نظر اجتماعی و سیاسی غیر قابل قبول باشند.

ب-۲۷-۲ استفاده

منحنی‌های FN راهی برای نمایش خروجی‌های تحلیل ریسک هستند. بسیاری از رخدادها احتمال بالایی از برآمدی با عواقب پایین و احتمال پایینی از برآمدی با عواقب بالا دارند. منحنی‌های FN نمایشی از سطح ریسک را ارائه می‌دهند که یک خط است که این گستره را توصیف می‌کند و نه نقطه‌ای واحد که یک جفت احتمال عواقب را نمایش می‌دهد.

منحنی‌های FN را می‌توان برای مقایسه ریسک‌ها به کار برد، مثلاً برای مقایسه ریسک‌های پیش بینی شده طبق معیارهایی که به عنوان منحنی FN تعریف می‌شوند، یا برای مقایسه ریسک‌های پیش بینی شده با داده‌هایی از رویدادهای تاریخچه ای، یا با معیارهای تصمیم گیری (که به عنوان منحنی F/N نیز نشان داده می‌شوند).

منحنی‌های FN را می‌توان برای طراحی سیستم یا فرآیند یا برای مدیریت سیستم‌های موجود به کار برد.

ب-۲۷-۳ ورودی

ورودی‌ها عبارتند از:

- مجموعه‌هایی از جفت‌های عواقب احتمال در طول یک دوره زمانی معین؛
- خروجی داده‌ها از یک تحلیل ریسک کمّی که احتمالات برآورد شده را برای تعداد مشخصی از تلفات ارائه می‌دهد؛
- داده‌هایی از سوابق تاریخچه‌ای و یک تحلیل ریسک کمی.

ب-۲۷-۴ فرآیند

داده‌های موجود در نموداری با چندین تلفات ترسیم می‌شود (تا سطح معینی از آسیب، یعنی مرگ) که طول نقطه را تشکیل می‌دهد با احتمال N یا تلفات بیشتر که عرض نقطه را تشکیل می‌دهد. به دلیل گستره بزرگ مقادیر، هر دو محور معمولاً روی مقیاس‌های لگاریتمی هستند.

منحنی‌های FN ممکن است از نظر آماری با استفاده از اعداد "حقیقی" از زیان‌های گذشته تهیه شوند یا ممکن است از برآوردهای مدل شبیه سازی محاسبه شوند. داده‌های به کار رفته و مفروضات صورت گرفته ممکن است بدین معنا باشند که این دو نوع منحنی FN اطلاعات متفاوتی ارائه می‌دهند و بایستی به طور مجزا و برای مقاصد مختلف به کار روند. به طور کلی منحنی‌های FN نظری بیشتر برای مدیریت سیستم موجود خاصی مفیدند.

هر دو رویکرد به دست آوردن می‌توانند بسیار زمان‌بر باشند، پس استفاده از ترکیبی از هر دو رایج است. داده‌های تجربی سپس نقاطی ثابت از تلفات شناخته شده دقیق را شکل می‌دهند که در سوانح/رویدادها در دوره زمانی معینی رخ داده اند و تحلیل ریسک کمّی دیگر نقاط را با برون یابی یا درون یابی ارائه می‌دهند.

نیاز به در نظر گرفتن سوانح دارای فراوانی پایین و عواقب بالا ممکن است مستلزم بررسی دوره‌های زمانی طولانی برای جمع آوری داده‌های کافی برای تحلیلی مناسب باشد. این به نوبه خود ممکن است داده‌های موجود را در صورتی که رخدادهای آغازین در طول زمان تغییر یابند، مورد شک قرار دهد.

ب-۲۷-۵ خروجی

خطی که ریسک را در طول مقادیر عواقبی نشان می‌دهد که می‌توانند با معیارهایی مقایسه شوند که برای جامعه مورد مطالعه و سطح مشخص شده آسیب، مناسب هستند.

ب-۲۷-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

منحنی‌های FN راهی مفید برای ارائه اطلاعات ریسک هستند که می‌توانند مورد استفاده مدیران و طراحان سیستم قرار گیرند تا به تصمیم گیری در مورد ریسک سطوح ایمنی کمک کنند. این منحنی‌ها راهی مفید برای ارائه فراوانی و همچنین اطلاعات عواقب با فرمتی قابل دسترسی هستند.

منحنی‌های FN برای مقایسه ریسک‌هایی از موقعیت‌هایی مشابه مناسبند که در آن‌ها داده‌های کافی موجودند. این منحنی‌ها را نبایستی برای مقایسه ریسک‌هایی از انواع مختلف با ویژگی‌هایی متغیر در اوضاع و احوالی به کار گرفت که کمیت و کیفیت داده‌ها تغییر می‌یابد.

یک محدودیت منحنی‌های FN این است که چیزی درباره گستره تاثیرات یا برآمدهای رویدادها نمی‌گویند به جز تعداد افرادی که تحت تاثیر قرار گرفته اند و راهی برای شناسایی راه‌های مختلف روی دادن سطح آسیب وجود ندارد. آن‌ها نوع عواقب خاصی را می‌نگارند، معمولاً آسیب به افراد. منحنی‌های FN روشی برای ارزیابی ریسک نیستند اما راهی برای ارائه نتایج ارزیابی ریسک هستند.

آن‌ها روشی خوب برای ارائه نتایج ارزیابی ریسک هستند، اما نیازمند آماده سازی تحلیل گران با مهارت هستند و اغلب تعبیر و سنجش آن‌ها برای افراد غیرمتخصص، مشکل است.

ب-۲۸ شاخص‌های ریسک

ب-۲۸-۱ مرور کلی

شاخص ریسک یک مقیاس نیمه کمّی ریسک است. این مقیاس برآوردی است که با استفاده از یک رویکرد نمره گذاری با استفاده از مقیاس‌های ترتیبی به دست آمده است. می‌توان از شاخص‌های ریسک برای درجه بندی یک سری از ریسک‌ها با استفاده از معیارهایی مشابه استفاده نمود تا بتوان آن‌ها را مقایسه کرد. امتیازها را در هر جزء ریسک به کار می‌برند، مثلاً ویژگی‌های آلاینده (منابع)، گستره مسیرهای در معرض قرار گرفتن ممکن و پیامد روی گیرنده‌ها.

شاخص‌های ریسک در اصل رویکردی کیفی به رده بندی و مقایسه ریسک‌ها هستند. از اعداد استفاده می-شود در حالی که این امر تنها دست کاری را ممکن می‌سازد. در بسیاری موارد که مدل یا سیستم زیرین به خوبی شناخته شده نیست یا قادر به نمایش آن نیست، بهتر است از رویکرد کیفی آشکار تری استفاده شود.

ب-۲۸-۲ استفاده

شاخص‌ها در صورتی که به خوبی درک شوند، می‌توانند برای طبقه بندی ریسک‌های مختلف مربوط به یک فعالیت به کار روند. آن‌ها انسجام گستره‌ای از عوامل را ممکن می‌سازند که پیامدی روی سطح ریسک در امتیاز عددی برای سطح ریسک، داشته باشد.

شاخص‌ها برای انواع مختلف بسیاری از ریسک به کار می‌روند و معمولاً به عنوان یک وسیله تعیین هدف برای طبقه بندی ریسک طبق سطح ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرند. این کار می‌تواند برای تعیین این که چه ریسک‌هایی نیاز به ارزیابی عمیق بیشتر و شاید کمی دارند، مورد استفاده قرار گیرد.

ب-۲۸-۳ ورودی

ورودی‌ها از تحلیل سیستم یا توصیفی گسترده از فضا به دست می‌آیند. این کار نیازمند درکی خوب از تمام منابع ریسک، مسیرهای ممکن و آنچه ممکن است تحت تاثیر قرار گیرد، می‌باشد. ابزارهایی مانند تحلیل درخت خرابی، تحلیل درخت رخداد و تحلیل تصمیم کلی را می‌توان برای پشتیبانی تکوین شاخص‌های ریسک به کار برد.

از آنجا که انتخاب مقیاس‌های ترتیبی تا حدی قراردادی است، برای معتبرسازی شاخص به داده‌های کافی نیاز است.

ب-۲۸-۴ فرآیند

گام اول درک و توصیف سیستم است. هنگامی که سیستم تعریف شد، امتیازها برای هر جزء به گونه‌ای تکوین می‌شوند که بتوانند ترکیب شوند تا شاخصی مرکب ارائه دهند. مثلاً در فضای محیطی، منابع، مسیرها و گیرنده (ها) امتیاز بندی می‌شوند، با توجه به این که در برخی موارد ممکن است مسیرها و گیرنده‌های چندگانه‌ای برای هر منبع موجود باشند. امتیازهای منفرد طبق برنامه‌ای ترکیب می‌شوند که واقعیات فیزیکی سیستم را به حساب می‌آورد. مهم است که امتیازها برای هر قسمت از سیستم (منابع، مسیرها و گیرنده ها) از درون ثابت باشند و روابط صحیحشان را حفظ کنند. امتیازها ممکن است برای اجزاء ریسک (مثلاً احتمال، در معرض قرار گرفتن، عواقب) یا برای عواملی که ریسک را افزایش می‌دهند، ارائه شوند.

امتیازها ممکن است طبق این مدل سطح بالا جمع، کسر، ضرب و/یا تقسیم شوند. تاثیرات تراکمی را می‌توان با جمع نمرات (مثلاً جمع نمرات مسیرهای مختلف) به حساب آورد. به کار گیری فرمول‌های ریاضیاتی در مقیاس‌های ترتیبی به هیچ وجه معتبر نیست. بنابراین هنگامی که سیستم نمره بندی تکوین شد، این مدل بایستی با به کار گیری آن در سیستمی شناخته شده معتبر سازی شود. تکوین یک شاخص رویکردی

تکراری است و سیستم‌های متعدد مختلفی برای ترکیب نمرات ممکن است مورد آزمایش قرار گیرند تا زمانی که تحلیل گر از معتبرسازی راضی باشد.

می توان با تحلیل حساسیت و نمرات متغیر به عدم قطعیت پرداخت تا مشخص شود که چه پارامترهایی بیشترین حساسیت را دارند.

ب-۲۸-۵ خروجی

خروجی مجموعه‌ای از اعداد است (شاخص‌های مرکب) که مربوط به منبعی خاص هستند و می‌توانند با شاخص‌های تکوین شده برای دیگر منابع درون سیستم مقایسه شوند یا به همین طریق مدل سازی شوند.

ب-۲۸-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت:

- شاخص‌ها می‌توانند ابزار خوبی برای رده بندی ریسک‌های مختلف فراهم سازند؛
- عوامل متعددی را ممکن می‌سازند که بر سطح ریسکی تاثیر می‌گذارند تا در یک نمره عددی واحد برای سطح ریسک گنجانده شوند.

محدودیت ها:

- اگر فرآیند (مدل) و خروجی آن به خوبی صحه‌گذاری نشوند، نتایج ممکن است بی معنی باشند. این حقیقت که خروجی، مقداری عددی برای ریسک است، ممکن است به طور نادرست تعبیر شده و مورد استفاده نادرست قرار گیرد، مثلاً در تحلیل هزینه/سود بعدی؛
- در بسیاری از موقعیت‌ها که شاخص‌ها به کار می‌روند، هیچ مدل اساسی برای تعریف این که آیا مقیاس‌های واحد برای عوامل ریسک خطی، لگاریتمی یا به شکل دیگری هستند وجود ندارد و هیچ مدلی برای تعریف نحوه ترکیب عوامل نیز موجود نیست. در این موقعیت‌ها، درجه بندی ذاتا غیر قابل اطمینان است و معتبرسازی طبق داده‌های حقیقی اهمیت ویژه‌ای دارد.

ب-۲۹ ماتریس عواقب/احتمال

ب-۲۹-۱ مرور کلی

ماتریس عواقب/احتمال روشی برای ترکیب درجه بندی‌های کیفی یا نیمه کمّی عواقب و احتمال تولید سطح ریسک یا درجه بندی ریسک می‌باشد.

فرمت ماتریس و تعاریف به کار رفته در آن بسته به فضا استفاده آن هستند و مهم است که طراحی مناسبی برای اوضاع و احوال مورد استفاده قرار گیرد.

ب-۲۹-۲ استفاده

ماتریس عواقب/احتمال برای رده بندی ریسک‌ها، منابع ریسک‌ها یا برخورد با ریسک بر مبنای سطح ریسک به کار می‌رود. معمولاً به عنوان ابزار غربال‌گری در هنگامی به کار می‌رود که ریسک‌های زیادی شناسایی شده اند، مثلاً برای تعریف این که چه ریسک‌هایی نیاز به تحلیل بیشتر یا تفصیلی تری دارند، چه ریسک-هایی در ابتدا نیاز به برخورد دارند یا چه ریسک‌هایی نیاز است به سطح بالاتری از مدیریت ارجاع داده شوند. همچنین می‌توان از آن برای انتخاب ریسک‌هایی استفاده کرد که نیاز نیست در این زمان بیشتر بررسی شوند. این نوع ماتریس ریسک همچنین به طور گسترده برای تعیین این که آیا ریسکی معین به طور گسترده قابل قبول یا غیرقابل قبول است (به جدول ۵-۴ مراجعه کنید) به کار می‌رود. این کار طبق ناحیه‌ای انجام می‌گیرد که ریسک روی ماتریس قرار دارد.

ماتریس عواقب/احتمال را همچنین می‌توان برای کمک به تبادل درکی مشترک برای سطوح کیفی ریسک‌ها در طول سازمان به کار برد. نحوه تعیین سطوح ریسک و قوانین تصمیم گیری که به آن‌ها نسبت داده می-شوند بایستی هم تراز با رغبت سازمان به ریسک باشد.

شکلی از ماتریس عواقب/احتمال برای تحلیل خطیر بودن در FMECA یا برای تعیین اولویت‌ها طبق HAZOP به کار می‌رود. همچنین می‌توان آن را در موقعیت‌هایی به کار برد که داده‌هایی ناکافی برای تحلیل تفصیلی موجودند یا موقعیت، زمان و تلاش را برای تحلیلی کمّی تر تضمین نمی‌کند.

ب-۲۹-۳ ورودی

ورودی‌ها به فرآیند، مقیاس‌هایی سفارشی شده برای عواقب و احتمال و ماتریسی هستند که این دو را ترکیب می‌کند.

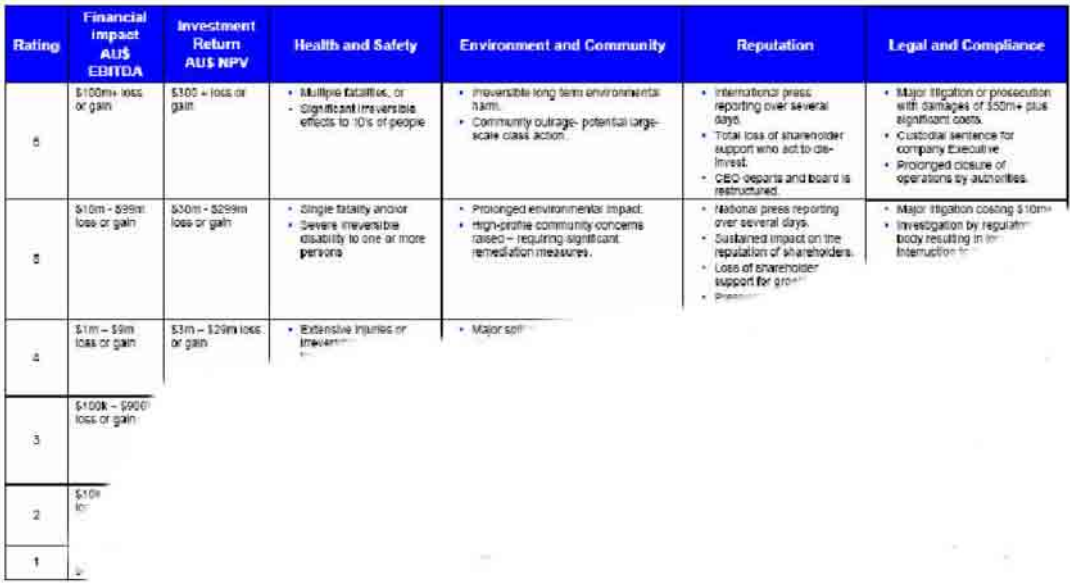
مقیاس (های) عواقب بایستی گستره انواع مختلفی از عواقب را برای بررسی پوشش دهند (مثلاً : زیان مالی، ایمنی، محیط یا دیگر پارامترها بسته به فضا) و بایستی از حداکثر عواقب باورپذیر به پایین ترین عواقب مورد نظر توسعه یابند. یک مثال در شکل ب-۱۳ نشان داده شده است.

مقیاس ممکن است هر تعداد نقطه‌ای داشته باشد. ۳، ۴ یا ۵ مقیاس نقطه از همه رایج تر هستند.

مقیاس احتمال نیز ممکن است هر تعداد نقطه‌ای داشته باشد. تعاریف برای احتمال باید انتخاب شوند و در حد ممکن غیرمبهم باشند. اگر راهنماهای عددی برای تعریف احتمالات مختلف به کار روند، آن گاه واحدها بایستی ارائه شوند. مقیاس احتمال نیاز است گستره مرتبط مطالعه‌ای را که در دست است، گسترش دهد و به یاد داشته باشد که پایین ترین احتمال باید برای بالاترین عواقب تعریف شده قابل قبول باشد، در غیر این صورت تمام فعالیت‌ها با بالاترین عواقب غیر قابل تحمل تعریف می‌شوند. یک مثال در شکل ب-۱۴ نشان داده شده است.

ماتریسی با عواقب روی یک محور و احتمال روی محور دیگر رسم می‌شود. شکل ب-۱۵ قسمتی از مثال ماتریس را با مقیاس‌های ۶ نقطه عواقب و ۵ نقطه احتمال نشان می‌دهد.

سطوح ریسک تعیین شده برای سلول‌ها بسته به تعاریف مقیاس‌های احتمال/عواقب خواهند بود. ماتریس ممکن است طوری تنظیم شود که وزن اضافی به عواقب بدهد (چنان که نشان داده شده) یا این بار را به احتمال دهد یا ممکن است بسته به کاربرد، متقارن باشد. سطوح ریسک ممکن است مرتبط با قوانین تصمیم مانند سطح توجه مدیریت یا مقیاس زمانی نیاز به پاسخ باشند.

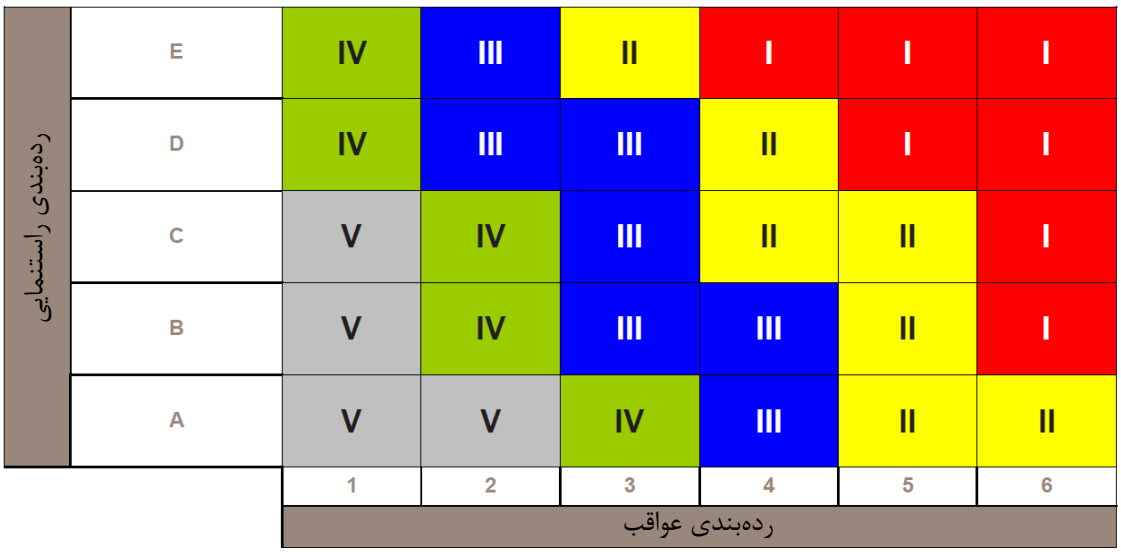


Rating	Financial Impact AU$ EBITDA	Investment Return AU$ NPV	Health and Safety	Environment and Community	Reputation	Legal and Compliance
6	$100m+ loss or gain	$300 + loss or gain	• Multiple fatalities, or • Significant irreversible effects to 10's of people	• Irreversible long term environmental harm. • Community outrage- potential large-scale class action.	• International press reporting over several days. • Total loss of shareholder support who act to de-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	• Major litigation costing $10m+ • Investigation by regulat body resulting in Interruption fo
4	$1m – $9m loss or gain	$3m – $29m loss or gain	• Extensive injuries or	• Major soil		
3	$100K – $900 loss or gain					
2	$10					
1						

شکل ب-۱۳ مثالی از جدول معیارهای عواقب

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 "y
Rare	- occurrence re - exceptional' - only occ
Remote	- theor - fr

شکل ب-۱۴ مثالی از ماتریس رده بندی ریسک



شکل ب-۱۵ مثالی از ماتریس معیارهای احتمال

مقیاس‌های درجه بندی و ماتریس ممکن است با مقیاس‌های کمّی تنظیم شوند. مثلاً در فضای قابلیت اطمینان، مقیاس احتمال می‌تواند نماینده‌ی نرخ‌های وقوع خرابی ومقیاس عواقب می‌تواند هزینه‌ی وقوع خرابی باشد.

استفاده از ابزار، نیازمند افرادی (به صورت ایده آل یک گروه) با تخصص مرتبط و داده‌هایی است که برای کمک در قضاوت‌های عواقب و احتمال موجود هستند.

ب-۲۹-۴ فرآیند

برای رده بندی ریسک‌ها، کاربر در ابتدا توصیف کننده‌ی عواقبی را می‌یابد که به بهترین نحو مناسب موقعیت است و سپس احتمال رخ دادن این عواقب را تعریف می‌کند. سپس سطح ریسک از ماتریس خوانده می‌شود.

بسیاری از رخدادهای ریسک ممکن است دارای گستره‌ای از برآمدها با احتمال مرتبط متفاوتی باشند. معمولاً مشکلات کوچک رایج تر از فجایع هستند. بنابراین قابلیت انتخاب رده بندی رایج ترین برآمد یا جدی ترین یا ترکیبی دیگر وجود دارد. در بسیاری موراد، مناسب است روی جدی ترین برآمدهای باورپذیر تمرکز شود، چرا که این برآمد ها بیشترین تهدید را ایجاد می‌کنند و اغلب بیشترین دغدغه را دربردارند. در برخی موارد، رده بندی مشکلات رایج و نیز فجایع غیرمحتمل به صورت ریسک‌هایی مجزا می‌تواند مناسب باشد. مهم این است که احتمال مرتبط با عواقب انتخاب شده به کار رود و نه احتمال رخداد به عنوان یک کل.

سطح ریسک تعریف شده توسط ماتریس را می‌توان مربوط به قانون تصمیم مانند برخورد یا عدم برخورد با ریسک دانست.

ب-۲۹-۵ خروجی

خروجی یک درجه بندی برای هر ریسک یا فهرستی رده بندی شده از ریسک با سطوح اهمیت تعریف شده است.

ب-۲۹-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت:

- استفاده از آن نسبتاً آسان است؛
- رده بندی سریعی از ریسک‌ها را در سطوح اهمیت مختلفی فراهم می‌سازد.
- محدودیت ها:
- ماتریسی بایستی طراحی شود تا برای اوضاع و احوال مناسب باشد، بنابراین ممکن است داشتن سیستمی مشترک که در کل گستره‌ای از اوضاع و احوال مربوط به سازمان به کار می‌رود، مشکل باشد؛
- تعریف غیرمبهم مقیاس‌ها مشکل است؛
- استفاده، بسیار ذهنی است و تغییر پذیری قابل توجهی بین نرخ گذاران وجود دارد؛
- ریسک را نمی‌توان متراکم ساخت (یعنی فرد نمی‌تواند تعداد خاصی از ریسک‌های پایین را تعریف کند یا یک ریسک پایین که به تعداد دفعات خاصی شناسایی شده است، معادل ریسکی متوسط است)؛
- ترکیب یا مقایسه سطح ریسک برای دسته‌های مختلف عواقب مشکل است.

نتایج بسته به سطح جزئیات تحلیل هستند، یعنی هرچه تحلیلی جزئی تر باشد، تعداد سناریوها بیشتر هستند و هر یک احتمال پایین تری دارند. این امر سطح حقیقی ریسک را دست کم می‌گیرد. نحوه گروه بندی سناریوها در توصیف ریسک بایستی سازگار بوده و در آغاز مطالعه تعریف شود.

ب-۳۰ تحلیل هزینه/سود[1] (CBA)

ب-۳۰-۱ مرور کلی

تحلیل هزینه/سود را می‌توان برای سنجش ریسک در جایی به کار برد که کل هزینه‌های مورد انتظار در برابر کل سود مورد انتظار اندازه گیری می‌شود تا بهترین یا پرسودترین گزینه انتخاب شود. این، قسمتی ضمنی از بسیاری از سیستم‌های سنجش ریسک است. این تحلیل می‌تواند کیفی یا کمّی بوده یا شامل ترکیبی از عناصر کمّی و کیفی باشد. CBA کمّی، مقدار پولیِ تمام هزینه‌ها و سودها را برای علاقمندانی جمع می‌کند

1- Cost/benefit analysis

که در هدف جای دارند و دوره‌های زمانی مختلفی را تنظیم می‌نماید که در آنها هزینه‌ها و سودها گسترش می‌یابند. مقدار فعلی خالص (NPV[1]) که تولید می‌شود ورودی به تصمیمات در مورد ریسک می‌شود. یک NPV مثبت مربوط به یک اقدام معمولاً بدین معناست که آن اقدام بایستی رخ دهد. با این حال برای برخی ریسک‌های منفی، به ویژه مواردی که شامل ریسک زندگی انسانی یا آسیب به محیط هستند، می‌توان از اصل ALARP استفاده کرد. این اصل، ریسک‌ها را به سه ناحیه تقسیم می‌کند: سطحی که ریسک‌های منفی بالاتر از آن غیرقابل تحمل هستند و نبایستی پذیرفته شوند، جز در اوضاع و احوال فوق العاده، سطحی که پایین تر از آن ریسک‌ها ناچیز هستند و تنها نیاز است پایش شوند تا اطمینان حاصل شود که پایین باقی می‌مانند و یک نوار مرکزی که در آن ریسک‌ها به حدی پایین نگه داشته می‌شوند که به طور منطقی عملی باشد (ALARP). در جهت انتهای ریسک پایین تر این ناحیه، می‌توان یک تحلیل سخت سود را به کار برد، اما در جایی که ریسک‌ها نزدیک به غیر قابل تحمل هستند، انتظار اصل ALARP این است که برخورد روی می‌دهد، مگر آن که هزینه‌های برخورد شدیدا با سود کسب شده نامتناسب باشند.

ب-۳۰-۲ استفاده ها

تحلیل هزینه/سود را می‌توان برای تصمیم گیری بین گزینه‌هایی به کار برد که شامل ریسک هستند.

مثلاً:

- به عنوان ورودی به تصمیمی در مورد این که آیا بایستی با ریسکی برخورد شود؛
- برای تمایز قائل شدن بین اشکال برخورد با ریسک و تصمیم گیری در این مورد که کدام یک بهترین است؛
- برای تصمیم گیری بین راه کارهای مختلف.

ب-۳۰-۳ ورودی ها

ورودی‌ها شامل اطلاعاتی در مورد هزینه‌ها و سودها برای علاقمندان مرتبط و در مورد عدم قطعیت‌ها در این هزینه‌ها و سودها هستند. هزینه‌ها و سودهای ملموس و ناملموس بایستی در نظر گرفته شوند. هزینه‌ها شامل منابع صرف شده و برآمدهای منفی هستند. سودها شامل برآمدهای مثبت، برآمدهای منفی مورد اجتناب و منابع حفظ شده هستند.

ب-۳۰-۴ فرآیند

علاقمندانی که ممکن است هزینه‌ای متقبل شوند یا سودی دریافت نمایند، شناسایی می‌شوند. در یک تحلیل کامل هزینه/سود، تمام علاقمندان گنجانده می‌شوند.

سودها و هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم برای تمام علاقمندان به گزینه‌های مورد بررسی شناسایی می-شوند. سودهای مستقیم، سودهایی هستند که مستقیما از اقدام انجام گرفته جریان می‌یابند، در حالی که

1- Net present value

سودهای غیر مستقیم یا فرعی سودهایی هستند که تصادفی هستند اما ممکن است کمک قابل توجهی به تصمیم گیری کنند. مثال‌هایی از سودهای غیر مستقیم عبارتند از بهبود اعتبار، رضایت کارکنان و "آسودگی خاطر". (این موارد اغلب در تصمیم گیری وزن بالایی دارند).

هزینه‌های مستقیم، هزینه‌هایی هستند که مستقیما مربوط به اقدام هستند. هزینه‌های غیر مستقیم هزینه-های اضافی، فرعی و حاشیه‌ای هستند، از قبیل از دست دادن سودمندی، منحرف ساختن زمان مدیریت یا انحراف سرمایه از دیگر سرمایه گذاری‌های بالقوه. هنگام به کار گیری تحلیل هزینه/سود در تصمیم در مورد این که آیا با ریسکی برخورد شود، هزینه‌ها و سودهای مربوط به برخورد با ریسک و پذیرفتن ریسک بایستی گنجانده شوند.

در تحلیل هزینه/سود کمی، هنگامی که تمام هزینه‌ها و سودهای ملموس و غیرملموس شناسایی شدند، یک مقدار پولی برای تمام هزینه‌ها و سودها تعیین می‌شود (از جمله هزینه‌ها و سودهای غیرملموس). چند راه استاندارد برای انجام این کار موجود است از جمله رویکرد "میل به پرداخت" و استفاده از نمایندگان. اگر، چنان که اغلب اتفاق می‌افتد، هزینه در دوره زمانی کوتاهی وارد شود (مثلاً یک سال) و سودها در دوره طولانی پس از آن جریان یابند، معمولاً ضروری است که سودها کاهش داده شوند تا تبدیل به "پول امروز" شوند تا بتوان مقایسه‌ای معتبر، انجام داد. تمام هزینه‌ها و سودها به عنوان مقداری در زمان فعلی نشان داده می‌شوند. مقدار فعلی تمام هزینه‌ها و تمام سودها برای تمام علاقمندان را می‌توان ترکیب نمود تا یک مقدار فعلی خالص(NPV[1]) به دست آورد. NPV مثبت بدین معناست که اقدام، سودآور است. نسبت‌های سود – هزینه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (به ب-۳۰-۵ مراجعه کنید).

اگر در مورد سطح هزینه‌ها یا سودها عدم قطعیتی موجود باشد، یکی از این دو عبارت یا هر دو را طبق احتمالاتشان می‌توان وزن‌دهی کرد.

در تحلیل کیفی هزینه – سود هیچ تلاشی برای یافتن یک مقدار پولی برای هزینه‌ها و سودهای غیرملموس انجام نمی‌گیرد و به جای ارائه یک شکل واحد که هزینه‌ها و سودها را خلاصه می‌کند، روابط و سبک و سنگین کردن‌ها بین هزینه‌ها و سودهای مختلف به صورت کیفی، در نظر گرفته می‌شوند.

یک تکنیک مرتبط، تحلیل صرفه اقتصادی است. این تکنیک فرض می‌کند که سود یا برآمدی خاص مطلوب است و این که راه‌های مختلف متعددی برای دستیابی به آن وجود دارند. این تحلیل تنها به هزینه‌ها توجه دارد و این که چه راهی برای دستیابی به سود، کم هزینه تر است.

ب-۳۰-۵ خروجی

خروجی تحلیل هزینه/سود اطلاعاتی در مورد هزینه‌ها و سودهای مرتبط گزینه‌ها یا اقدامات مختلف است. این اطلاعات را می‌توان به صورت کمی، به عنوان مقدار فعلی خالص (NPV)، نرخ بازدهی داخلی (IRR)[2] یا

1- Net present value

2- Internal rate of return

به عنوان نسبت مقدار فعلی سودها به مقدار فعلی هزینه‌ها نشان داد. از نظر کیفی، خروجی معمولاً جدولی است که هزینه‌ها و سودهای انواع مختلفی از سود و هزینه را مقایسه می‌کند و توجه را به سبک و سنگین کردن، جلب می‌نماید.

ب-۳۰-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت تحلیل هزینه – سود:

- مقایسه هزینه‌ها و سودها را با استفاده از یک متریک واحد (پول) ممکن می‌سازد؛
- شفافیت تصمیم گیری را فراهم می‌سازد؛
- مستلزم این است که اطلاعات تفصیلی در زمینه‌ی تمام جنبه‌های ممکن تصمیم جمع آوری شود. این اطلاعات می‌تواند در آشکار ساختن ناآگاهی و همچنین دانش تبادل اطلاعات، ارزشمند باشد.

محدودیت ها:

- CBA کمّی می‌تواند اعدادی بسیار متفاوت به دست دهد که به روش‌های به کار رفته برای تعیین مقادیر اقتصادی برای سودهای غیر اقتصادی بستگی دارد؛
- در برخی کاربردها، تعریف نرخ تنزیل معتبر برای هزینه‌ها و سودهای آینده، مشکل است؛
- سودهایی که به جامعه‌ای بزرگ تعلق دارند را به سختی می‌توان برآورد نمود، به ویژه سودهایی که مربوط به کالایی هستند که تولید آن به نفع جامعه است و در بازارها مبادله نمی‌شود؛
- رویه کاهش بدین معناست که سودهای به دست آمده در آینده دراز مدت تاثیری ناچیز روی تصمیم دارند که به نرخ تنزیل انتخاب شده بستگی دارد. این روش برای بررسی ریسک‌هایی که بر نسل‌های آینده اثر می‌گذارند نامناسب می‌شود، مگر آن که نرخ‌های کاهش بسیار پایین یا صفر تنظیم شوند.

ب-۳۱ تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA)[1]

ب-۳۱-۱ مرور کلی

هدف، استفاده از گستره‌ای از معیارها برای ارزیابی عینی و شفاف ارزش کلی مجموعه‌ای از گزینه‌ها است. به طور کلی، هدف کلی ایجاد ترجیح توالی بین گزینه‌های موجود است. تحلیل شامل تکوین ماتریسی از گزینه-ها و معیارها است که رده بندی شده و جمع می‌شوند تا یک امتیاز کلی برای هر گزینه ارائه دهند.

1- Multi-criteria decision analysis

ب-۳۱-۲ استفاده

MCDA را می‌توان برای موارد زیر به کار برد:

- مقایسه چندین گزینه برای اولین تحلیل عبور و به منظور تعیین گزینه‌های مورد ترجیح و بالقوه و گزینه نامناسب؛
- مقایسه گزینه‌ها در جایی که معیارهای چندگانه و گاهی متناقض موجودند؛
- دستیابی به توافق در مورد تصمیم در جایی که علاقمندان مختلف اهداف یا ارزش‌های متناقض دارند.

ب-۳۱-۳ ورودی ها

مجموعه‌ای از گزینه‌ها برای تحلیل. معیارهایی بر اساس اهداف که می‌توانند به طور مساوی در کل گزینه‌ها مورد استفاده قرار گیرند تا بین آن‌ها تمایز قائل شوند.

ب-۳۱-۴ فرآیند

به طور کلی، گروهی از علاقمندان مطلع فرآیند زیر را بر عهده می‌گیرند:

الف) تعریف هدف/اهداف؛

ب) تعیین وصفی‌ها (معیارها یا اقدامات اجرایی) که مربوط به هر هدف هستند؛

پ) ساختاربندی وصفی‌ها در یک ساختار سلسله مراتبی؛

ت) تکوین گزینه‌هایی که طبق معیارها مورد سنجش قرار گیرند؛

ث) تعیین اهمیت معیارها و وزن‌دهی برای هر یک؛

ج) سنجش گزینه‌ها با توجه به معیارها. این سنجش را می‌توان به عنوان ماتریسی از امتیاز ها نمایش داد؛

چ) ترکیب امتیاز ها با وصفی‌های چندگانه در یک امتیاز با وصفی چندگانه جمع شده؛

ح) سنجش نتایج.

روش‌های مختلفی هستند که از طریق آن‌ها تعیین وزن هر معیار را می‌توان استخراج نمود و همچنین روش‌های مختلفی برای جمع امتیازهای معیار برای هر گزینه در یک امتیاز واحد دارای وصفی‌های چندگانه موجودند. مثلاً امتیازها را می‌توان به عنوان مجموع وزن دهی شده یا حاصل ضرب وزن دهی شده یا با استفاده از فرآیند سلسله مراتب تحلیلی، یک تکنیک استخراج برای وزن‌ها و امتیازها بر اساس مقایسه‌های جفتی، جمع کرد. تمام این روش‌ها فرض می‌کنند که ترجیح هر معیار واحد به مقادیر دیگر معیارها بستگی ندارد. در جایی که این مفروضات ، معتبر نیست، از مدل‌های مختلفی استفاده می‌شود.

از آنجا که امتیازها مبتنی بر ذهنیات فردی هستند، تحلیل حساسیت برای بررسی میزان تاثیرگذاری وزن‌ها و امتیازها بر ترجیح کلی بین گزینه‌ها، مفید است.

ب-۳۱-۵ خروجی ها

ارائه رده‌بندی ترکیبی گزینه‌ها از بیشترین به کمترین گزینه‌ی ترجیهی، می‌رود. اگر فرآیند، ماتریسی تولید کند که در آن محورهای ماتریس طبق معیارها وزن‌دهی شده باشند و معیارها به هر گزینه امتیاز بدهند، آن گاه گزینه‌هایی که طبق معیارهای دارای وزن زیاد، خراب هستند را می‌توان حذف نمود.

ب-۳۱-۶ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت:

- ساختاری ساده برای تصمیم گیری کارآمد و ارائه مفروضات و نتیجه گیری‌ها فراهم می‌سازد؛
- می تواند قابلیت مدیریت مشکلات تصمیم گیری پیچیده را که در تحلیل هزینه/سود قابل اصلاح نیستند، افزایش دهد؛
- می تواند به بررسی منطقی مشکلات هنگامی که باید سبک و سنگین[1] شوند، کمک کند؛
- می تواند به دستیابی به توافق در زمانی کمک کند که علاقمندان اهداف و بنابراین معیارهایی متفاوت دارند.

محدودیت ها:

- ممکن است تحت تاثیر تعصب و انتخاب ضعیف معیارهای تصمیم قرار گیرد؛
- بیشتر مشکلات MCDA راه حلی قطعی یا منحصر به فرد ندارند؛
- الگوریتم‌های تجمعی که وزن‌های معیارها را از ترجیحات بیان شده محاسبه می‌کنند یا نظرات مختلف را جمع می‌کنند، می‌توانند مبنای حقیقی تصمیم را مبهم کنند.

1- Trade-off

کتابنامه

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

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

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

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

ISO/IEC Guide 51, Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards

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

IEC 61649, Weibull analysis

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

IEC 62551, Analysis techniques for dependability – Petri net techniques2

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