INSO
17893
1st. Edition
2014

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۷۸۹۳
چاپ اول
۱۳۹۳

مبانی طراحی سازه‌ها- اصول کلی ارزیابی ریسک در سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها

Bases for Design of Structures - General Principles on Risk Assessment of Systems Involving Structures

ICS:91.080.01

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 صدور گواهی سامانه 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

«مبانی طراحی سازه- اصول کلی ارزیابی ریسک در سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها»

رییس:	**سمت و/ یا نمایندگی**
امیدی کاشانی، بهزاد (دکتری مهندسی مکانیک)	عضو هیات علمی دانشگاه بیرجند
دبیر:	
رضازاده، رضا (کارشناس مهندسی عمران)	کارشناس اداره کل استاندارد خراسان جنوبی
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
ارجمندفر، علیرضا (کارشناس مهندسی عمران)	کارشناس شهرداری بیرجند
اطمینانی، حمیدرضا (کارشناس مهندسی عمران)	کارشناس مسئول دفتر فنی استانداری خراسان جنوبی
پارسا، مهدی (کارشناس مهندسی صنایع)	کارشناس سازمان صنعت معدن و تجارت خراسان جنوبی
حسین‌زاده، امین (کارشناس ارشد مهندسی شیمی)	مدیر کنترل کیفیت سیمان قاین
حنفی بجد، محمد (کارشناس بهداشت حرفه‌ای)	معاون بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند
خالدی، حسین (کارشناس مهندسی کامپیوتر)	معاونت فناوری پارک علم و فناوری استان
شرقی، عبدالعلی (دکتری مهندسی عمران)	عضو هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی
شیبانی، محمد (کارشناس ارشد معماری)	هیات علمی دانشگاه پیام نور خراسان جنوبی
ضرابی راد، راحله (کارشناس ارشد زمین‌شناسی)	مدیرعامل شرکت کیفیت گستر بجنورد

طوقی، هاشم
(کارشناس بهداشت و ایمنی)
معاون پیشگیری از حوادث و حریق آتش نشانی بیرجند

ناصری، حمیدرضا
(دکتری مهندسی عمران)
عضو هیات علمی دانشگاه بیرجند

فهرست مندرجات

عنوان		صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد		ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد		ج
پیش گفتار		و
۱	هدف و دامنه کاربرد	۱
۲	مراجع الزامی	۱
۳	اصطلاحات و تعاریف	۱
۴	چارچوب کلی ارزیابی ریسک سامانه‌های دربردارنده سازه	۶
۵	ایجاد زمینه مهندسی سازه	۸
۶	تعریف سامانه	۱۰
۷	شناسایی خطرات و عواقب	۱۰
۸	برآورد ریسک	۱۱
۹	ارزشیابی ریسک	۱۴
۱۰	ارزشیابی گزینه‌های ترمیم	۱۵
۱۱	گزارش	۱۶
پیوست الف (اطلاعاتی) اصول ارزیابی ریسک		۱۸
پیوست ب (اطلاعاتی) مثال‌هایی از رویدادهای خارق العاده و سازه‌های خاص برای ارزیابی ریسک		۲۳
پیوست پ (اطلاعاتی) روش‌هایی برای ترمیم از نظر تخصصی		۲۵
پیوست ت (اطلاعاتی) مثال‌هایی از نمایش کمی ریسک		۲۸
پیوست ث (اطلاعاتی) معادلاتی برای برآورد ریسک		۳۳
پیوست ج (اطلاعاتی) دستورالعمل برآورد عواقب		۳۷
پیوست چ (اطلاعاتی) مثال‌هایی از اقدامات برای ترمیم ریسک		۴۰
پیوست ح (اطلاعاتی) مثال‌هایی از کاربرد پذیرش ریسک و بهینه‌سازی		۴۴
پیوست خ (اطلاعاتی) کتاب‌نامه		۵۰

پیش‌گفتار

استاندارد «مبانی طراحی سازه - اصول کلی ارزیابی ریسک در سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در ۵۱۴ اجلاس کمیتهٔ ملی استاندارد مهندسی ساختمان، مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۳/۲/۱۰ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملّی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملّی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارایه 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 تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 13824:2009, Bases for design of structures — General principles on risk assessment of systems involving structures

مبانی طراحی سازه ها- اصول کلی ارزیابی ریسک در سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین اصول کلی ارزیابی ریسک برای سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها می‌باشد. در این‌جا تمرکز بر سیاست‌گذاری‌های تصمیم‌گیری و عملیاتی مربوط به طراحی، ارزیابی، تعمیر و نگه‌داری و خارج از رده اعلام کردن سازه‌ها است. همچنین این تمرکز شامل فرمول‌سازی و واسنجی[1] آئین‌نامه‌ها و استانداردهای مربوط نیز می‌باشد. سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها می‌توانند ذی‌نفعان را در سطوح مختلف جامعه با ریسک‌های اساسی روبرو نمایند. از دیگر اهداف این استاندارد، تسهیل و تعالی تصمیم‌گیری با توجه به پایش، کاهش و مدیریت ریسک با یک شیوه کارآمد، مقرون به صرفه و شفاف است. ارزیابی ریسک در چارچوب گسترده‌تری از مدیریت ریسک، دستورالعمل‌های احتمالی برای تعیین شیوه صحیح ترمیم[2] ریسک را در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهد.

این استاندارد، ارایه چارچوب کلی و همچنین یک دستورالعمل برای شناسایی خطرات و برآورد آن، ارزشیابی و ترمیم ریسک‌های سازه‌ها و سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها را فراهم می‌کند. این استاندارد مانند استاندارد بند ۲-۱، مبنایی برای تعیین سطوح قابل قبول از دوام‌پذیری هدف را بر پایه خروجی‌هایی از بررسی‌های ریسک در اختیار طراحان قرار می‌دهد. برای سازه‌های موجود، ارزیابی ریسک هایی مرتبط با حوادثی که در طراحی اولیه آن‌ها در نظر گرفته نشده و یا با تغییر در کاربری آن‌ها ایجاد شده را باید با توجه به اصول مندرج در این استاندارد انجام داد. همچنین این استاندارد را می‌توان برای ارزیابی ریسک سازه‌های استثنایی استفاده نمود، که طراحی این سازه‌ها فراتر از محدوده آئین‌نامه‌های موجود می‌باشد.

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، جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای 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:

1- Calibration
2- Treat

2-1 ISO 2394, General principles on reliability Structures

2-2 ISO/TS 16732, Fire safety engineering - Guidance on fire risk assessment

2-3 ISO/IEC Guide 51:1999, Safety aspects - Guidelines for their inclusion in standards

2-4 ISO Guide 73, Risk management — Vocabulary

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد علاوه بر اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد بندهای ۲-۱، ۲-۲، ۲-۳ و ۲-۴، اصطلاحات و تعاریف زیر نیز به کار می‌رود:

۳-۱

ریسک قابل قبول

سطحی از ریسک که یک فرد یا جامعه برای ایمن قرار دادن برخی منافع آن را می‌پذیرد.

۳-۲

تحلیل هزینه و سود

تحلیلی برای اتخاذ تصمیم‌گیری مرتبط با یک پروژه یا یک طرح بر اساس کمیت‌سنجی و مقایسه هزینه‌ها و مزایای اجرای آن است.

۳-۳

پیشامد غیر منتظره

رویدادی که به نظر متخصصان غیر قابل پیش‌بینی است و یا از نظر فنی غیرقابل انتظار بوده و یا واقعه‌ای که احتمال رخداد آن بسیار پایین برآورد شده است.

۳-۴

خطر

منبع بالقوه‌ای از عواقب نامطلوب **است.**

۳-۴-۱

شناسایی خطر

فرآیندی برای شناسایی، فهرست کردن و مشخص نمودن خطرات است.

۳-۴-۲

منحنی خطر

مقدار افزایش احتمال یک خطر مشخص شده برای یک دوره زمانی مشخص است.

۳-۴-۳

غربال‌گری خطر

فرآیند شناسایی خطرات مهمی است که در ارزیابی ریسک سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها باید درنظرگرفته شوند.

۵-۳

اختیار[1]

اقدامات ممکن برای مدیریت ریسک است.

یادآوری- هنگامی که گزینه‌های دیگر نمی‌توانند ریسک موردنظر را در مقابل هزینه‌های سرمایه‌گذاری کاهش دهند، انجام ندادن هیچ کاری می‌تواند گزینه ممکن باشد.

۶-۳

قابلیت اطمینان

توانایی یک سازه یا یک المان سازه‌ای برای تحقق الزامات مشخص شده از جمله عمر کاری برای قطعه طراحی شده است.

۷-۳

ریسک باقی مانده

ریسکی که پس از ترمیم ریسک باقی می‌ماند.

۸-۳

ریسک

ترکیبی از احتمال یا بسآمد[2] وقوع یک رویداد و شدت عواقب آن است.

یادآوری - از نظر نظری ریسک تصمیم‌گیرهای قاطع است که می‌تواند حاوی ارزش تمام عواقب ناخواسته مورد انتظار، از جمله مجموع تمام عواقب رویداد موردنظر و احتمال وقوع آن‌ها باشد.

۹-۳

پذیرش ریسک

تصمیمی برای پذیرش ریسک است.

۱۰-۳

ارزیابی ریسک

فرآیند کلی ایجاد خاستگاه[3] مهندسی سازه، تعریف سامانه، شناسایی خطرات و عواقب آن، برآورد ریسک، ارزشیابی ریسک و ارزشیابی گزینه‌های ترمیم است.

۱۱-۳

محاسبه ریسک

عملیاتی برای حصول یک عدد (با ترکیبی از احتمالات و عواقب ناشی از وقوع ریسک‌ها بدست می آید) که به منظور مقایسه گزینه‌های ریسک استفاده می شود.

1- Option
2- Frequency
3- Context

یادآوری – به بند ۸-۶ مراجعه کنید.

۱۲-۳

ارتباط ریسک

تبادل یا به اشتراک‌گذاری اطلاعات در مورد ریسک در میان تصمیم‌گیران، سایر ذی‌نفعان (آن واحد اقتصادی) و مهندسان است.

یادآوری ۱– این اطلاعات می‌تواند مربوط به وجود، طبیعت، شکل، احتمال، شدت، قابلیت پذیرش، ترمیم و یا دیگر جنبه‌های ریسک باشد.

یادآوری۲– مهندسان، مرجع اصلی برای اطلاعات ریسک بوده و ذی‌نفعان را به ارتباط با یکدیگر تشویق می‌کنند.

۱۳-۳

کنترل ریسک

اقدامات برای اجرایی کردن تصمیمات حاصله از مدیریت ریسک است.

یادآوری– کنترل ریسک می‌تواند شامل پایش، ارزشیابی مجدد و پیروی از تصمیم‌ها باشد.

۱۴-۳

معیارهای ریسک

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل ریسک بر اساس این معیارها ارزیابی می‌شوند.

یادآوری۱– این معیارها کلاً بر اساس مقررات، استانداردها، تجربه، و یا دانش نظری (به کار رفته به صورت پایه تصمیم‌گیری آن ریسک قابل‌قبول) می‌باشند.

یادآوری۲– معیارهای ریسک می‌تواند به هزینه‌ها و منافع مرتبط، الزام های حقوقی و قانونی، جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و جنبه‌های زیست محیطی، نقطه نظر های ذی‌نفعان، اولویت‌ها و دیگر مولفه‌های موثر بر ارزیابی آن ریسک، وابسته باشد.

۱۵-۳

برآورد ریسک

فرآیند ارزش‌دهی به احتمال وقوع حوادث و عواقب آن‌ها است.

یادآوری– در برآورد ریسک، هزینه‌ها، مزایا، نظرهای ذی‌نفعان و سایر متغیرهای مناسب برای ارزشیابی ریسک می‌توانند بررسی شوند.

۱۶-۳

ارزشیابی ریسک

فرآیند مقایسه ریسک برآورد شده با معیارهای ارایه شده برای ریسک (جهت تعیین اهمیت آن) است.

یادآوری– برای کمک به تصمیم‌گیری مربوط به پذیرش یا ترمیم یک ریسک می‌توان از ارزشیابی همان ریسک استفاده کرد.

۱۷-۳

ترمیم ریسک

فرآیند انتخاب و اجرای اقدام‌هایی برای بهینه‌سازی ریسک است.

۱۸-۳

طرح راهنما[1]

شرح کیفی یک سری حوادث در زمان و مکان و ارتباط بینابینی آن‌ها با توجه به وقوع خطر است.

۱۹-۳

خاستگاه[2] **مهندسی سازه**

پیش زمینه و یا دلایلی است که چرایی لزوم انجام ارزیابی ریسک را بر پایه دیدگاه سازه‌ای بیان می‌کند.

۲۰-۳

ذی‌نفعان

هر فرد، گروه، سازمان و یا نهاد که می‌تواند تاثیرگذار یا تاثیرپذیر از ریسک باشد و یا احساس کند که تحت تاثیر آن ریسک است.

یادآوری- تصمیم‌گیرنده، یک ذی‌نفع است.

۲۱-۳

سازه[3]

چیدمانی از مصالح ساختمانی که انتظار می‌رود در برابر کنش‌های معینی مقاوم بوده و قادر به انجام برخی کارآیی‌های مشخصی باشد.

۲۲-۳

سامانه

مجموعه محدودی از اجزا، دارای مناسب‌های مشترک مرتبط با هم یا متاثر از هم است که برای یک ریسک بالقوه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

یادآوری۱- این تعریف نشان‌دهنده آن است که سامانه قابل شناسایی است و از عناصر یا زیرسامانه‌ها با اثرگذاری متقابل تشکیل شده، که همه این اجزا قابل شناسایی هستند، و آن مرز سامانه نیز قابل شناسایی است.

یادآوری۲- یک سامانه دربرگیرنده سازهها شامل یک سامانه سازه‌ای با تعریفی طبق استاندارد ISO 2394 به عنوان یک زیرسامانه است.

یادآوری۳- از لحاظ خطرات فنی، یک سامانه به طور معمول از یک زیرسامانه فیزیکی، یک زیرسامانه انسانی، مدیریت و محیط زیست آن‌ها تشکیل شده است.

1- Scenario
2- Context
3- Structure

۲۳-۳

عواقب نامطلوب

صدمات[1] مستقیم و غیرمستقیم هستند که به صورت جراحات شخصی، مرگ، آسیب‌های زیست محیطی و از دست دادن سرمایه تعریف شده‌اند.

یادآوری۱- برای یک رویداد بیش از یک عاقبت منفی می‌تواند وجود داشته باشد.

یادآوری۲- عواقب فوق می‌توانند به صورت کیفی یا کمّی بیان شده باشند.

یادآوری۳- هر دو نوع عواقب فوری و دراز مدت باید درنظر گرفته شوند.

یادآوری۴- آسیب‌های زیست محیطی بنا بر نظرهای مختلف مورد توجه بوده و گاهی انواع آسیب‌هایی از نوع سیاسی و اجتماعی را نیز شامل می‌شوند.

۲۴-۳

رویداد نامطلوب

رویدادی که می‌تواند عواقب نامطلوب داشته باشد.

۴ چارچوب کلی ارزیابی ریسک سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها

۴-۱ بررسی اجمالی مدیریت ریسک سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها

۴-۱-۱ کلیات

به طور کلی هدف از مدیریت ریسک تخصیص بهینه منابع محدود برای ذی‌نفعان (درگیر با آن ریسک) مانند جامعه، انجمن‌های محلی، افراد و سازمان‌های مختلف است. مدیریت ریسک به نوعی شامل اهداف مدیریت ریسک، ارزیابی ریسک، ترمیم ریسک، ارتباطات و مشاوره و پایش و بازنگری بوده و نمایش آن در شکل ۱ و در بند ۴-۱-۲ شرح داده شده است. مدیریت ریسک یک فرآیند یک طرفه نبوده، بلکه باید به شکل یک فرآیند تعاملی باشد.

۴-۱-۲ گام‌های فرآیند مدیریت ریسک

۴-۱-۲-۱ ایجاد اهداف مدیریت ریسک

دستورالعمل‌های ایجاد اهداف مدیریت ریسک خارج از چارچوب این استاندارد است. برای مدیریت ریسک یک سازه جدید و یا سازه موجود، یک ریسک یا بر اساس مشخصه‌های طراحی پیشنهادی یا بر اساس وضعیت (های) موجود، توسط روش‌های مهندسی در فرآیند ارزیابی ریسک برآورد شده است. انتظار می‌رود که اهداف مدیریت ریسک مرتبط با ارزیابی همان ریسک، بر اساس حفاظت از دارایی‌ها، حفظ سطح سلامت و ایمنی، حفاظت از محیط زیست، الزام های قانونی، تغییرات یا الزام های کارکردی و مانند این‌ها تعریف شده باشند. این اهداف معمولاً در مقایسه موارد زیر با یکدیگر تعیین می‌شوند:

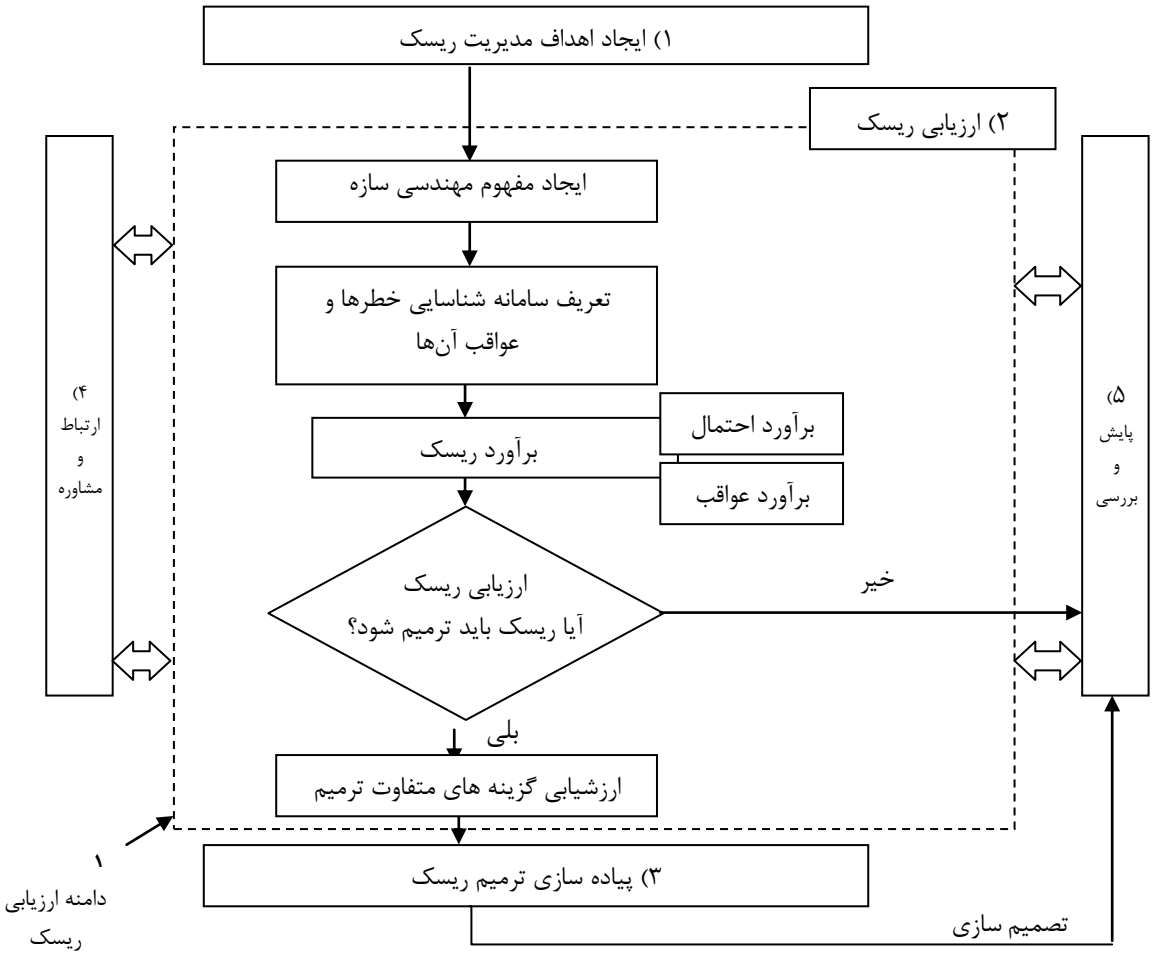
- هزینه یا سود راه‌حل‌های اختیاری

1- Harm

- ریسک‌های مختلف، به عنوان مثال، ریسک‌هایی که به طور قابل‌قبولی برای جامعه شناخته شده‌اند.

۴-۱-۲-۲ ارزیابی ریسک

ارزیابی ریسک شامل ایجاد خاستگاه مهندسی سازه، تعریف سامانه سازه‌ای، شناسایی خطرات و عواقب آن‌ها، برآورد ریسک، ارزشیابی ریسک و ارزشیابی گزینه‌های ترمیم ریسک در مواردی که باید ترمیم ریسک انجام شود، است.



شکل ۱ - فرآیند مدیریت ریسک و دامنه ارزیابی ریسک در سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها

اگرچه ایجاد خاستگاه مهندسی سازه و ارزیابی گزینه‌های ترمیم ریسک، به طورکلی خارج از محدوده ارزیابی ریسک است، ولی به دلیل معنی‌دار کردن خروجی این ارزیابی ریسک، عبارت‌های فوق در محدوده استاندارد فعلی گنجانده شده است.

۴-۱-۲-۳ اجرای ترمیم ریسک

در فرآیند ترمیم ریسک، تصمیم‌گیری در مورد اجرای اقدامات کاهنده ریسک، براساس مقرون به صرفه بودن و یا سایر داوری‌های اجتماعی دیگر انجام می‌شود. ذی‌نفعان می‌توانند براساس درک خود از این ارزش‌ها و ملاحظات اجتماعی و فرهنگی خود و سایر دلایل و مانند این‌ها، مصمم به پذیرفتن ریسکی شوند که ارزشیابی آن بیش از حد مهم تشخیص داده شده است.

۴-۱-۲-۴ ارتباط و مشاوره

باید ارتباط کامل و مشاوره مناسب با ذی‌نفعان برای هر عنصر از فرآیند مدیریت ریسک و برای کل فرآیند وجود داشته باشد. پس از تکمیل ارزیابی ریسک، نتایج باید به شیوه مناسبی به ذی‌نفعان منتقل شود به طوری که آن‌ها بتوانند آن را درک کرده و تصمیم‌گیری‌های مناسبی داشته باشند.

۴-۱-۲-۵ پایش و بررسی

سطح ریسک را برای حفظ آن تا پایین‌تر از یک اندازه مشخص (بدون درنظرگرفتن این که آیا ریسک مدنظر ترمیم می‌شود یا نه) باید پایش کرد. هم‌چنین، باید اثربخشی تمام عناصر فرآیند مدیریت ریسک به منظور اطمینان از بهبود مستمر این فرآیند بازبینی شود. برای هر عنصر از فرآیند مدیریت ریسک، سوابق آن باید به عنوان مرجعی برای تضمین وقوع تصمیم‌گیری‌ها بر اساس فهم کامل و کمک به بهبود مستمر آن فرآیند در آینده نگه‌داری شود.

۴-۲ کاربرد ارزیابی ریسک

ارزیابی ریسک در شرایطی مفید است که یک رویداد بسیار نادر عواقب بسیار شدید دارد، و یا رویدادهایی که گه‌گاه رخ می‌دهند و عواقب متوسط تا بزرگی دارند. رخ دادن یک زلزله بزرگ در یک منطقه شهری یک نمونه از شرایط مورد اول است، درحالی که یک تصادف جاده‌ای مثالی از مورد دوم است.

ارزیابی ریسک در شرایطی که اندازه یک سازه بسیار بزرگ و یا تعداد افراد و یا مقدار کالا در داخل سازه فوق بسیار زیاد باشد، نیز مفید است. ساختمان‌های مرتفع یک نمونه از این شرایط هستند.

هنگامی که مشخص نبودن عوامل ورودی تاثیر قابل توجهی بر رفتار سازه و عواقب ناشی از چنین رفتاری دارد، ارزیابی ریسک ضروری است.

همچنین هنگامی که صدمه و از دست رفتن همه کارایی سازه تاثیر قابل توجهی بر یک جامعه (انسانی) دارد، ارزیابی ریسک ضروری است. بیمارستان‌ها، ایستگاه‌های نجات، آتش‌نشانی و پلیس، نیروگاه‌های تولید برق و شبکه‌های توزیع برق و ساختمان‌های حاوی مواد بسیار سمی، نمونه‌های معمول از چنین سازه هایی هستند.

۵ ایجاد خاستگاه مهندسی سازه

۵-۱ خاستگاه مهندسی سازه

خاستگاه مهندسی سازه نقش ارزیابی ریسک را در چارچوبی از مدیریت ریسک برای سازه‌ها تعریف می‌کند. نمونه‌ای از خاستگاه های مهندسی سازه عبارتند از:

۵-۱-۱ استقرار بر پایه طراحی؛

۵-۱-۲ ارزیابی سازه‌های موجود؛

۵-۱-۳ ارزیابی سازه‌های خاص و یا حوادث خارق‌العاده (به پیوست ب مراجعه کنید)؛

۵-۱-۴ تهیه اطلاعات ریسک برای تصمیم‌گیری.

ذی‌نفعان باید بر اساس خاستگاه مهندسی سازه مشخصی، شناخته شوند.

۵-۲ ایجاد پایه‌های طراحی

۵-۲-۱ یک آئین نامه طراحی، بخشی از معیارها را برای طراحی اجزای سازه تعیین می‌کند. معیارها اغلب بر اساس سطوح قابلیت اطمینان هدف می‌باشند که می‌توانند بر اساس ریسک‌های مرتبط (و مقایسه با حد مربوط)، از پیش تعیین شوند. نتایج ارزیابی ریسک می‌تواند یک مبنای منطقی برای تعیین سطوح قابلیت اطمینان هدف ارایه کند.

۵-۲-۲ ارزیابی ریسک می‌تواند برای تعیین سطح قابلیت اطمینان هدف از آئین‌نامه‌های طراحی سازه‌ای موجود انجام گیرند.

۵-۳ ارزیابی سازه‌های موجود

۵-۳-۱ ریسک‌های مرتبط با سازه‌های موجود از جمله سازه‌های تاریخی باید در شرایطی که سازه آسیب دیده یا کاربری آن تغییر کرده و یا در دیگر موقعیت‌های مربوط مورد ارزیابی قرار گیرند. اگر ریسک فوق بیش از حد بزرگ باشد، نتایج حاصل از ارزیابی ریسک باید به ذی‌نفعان گزارش شود.

یادآوری- برای برآورد ریسک می‌توان از مرجع [۱] استفاده نمود.

۵-۳-۲ در اثر وقوع حوادث خارق‌العاده که فراتر از حوادث در نظر گرفته شده در طراحی می‌باشند، ضروری است که ریسک این حوادث نیز ارزیابی شود و بررسی شود که این نتایج حتماً در سطح قابل‌قبولی باشد. در موارد ممکن، توصیه می‌شود که این سطح قابل‌قبول، معادل همان سطح برای سازه‌ها با طراحی جدید باشد و با این حال، سطح (قابل قبول فوق) برای سازه‌های موجود را می‌توان با درنظر گرفتن محاسبات هزینه و سود تعیین کرد.

در بسیاری از موارد برای ساختمان‌های قدیمی، ارزیابی قابلیت اطمینان آن‌ها و مقایسه این پارامتر برای یک سازه جدید به این دلیل که نمی‌توان از قوانین طراحی مدرن برای ساختمان‌ها و سازه‌های قدیمی استفاده نمود، یک چالش بوده و یا در عمل غیرممکن است، زیرا مواد و روش‌های ساخت و ساز به کار رفته در اصول طراحی (آن ساختمان‌های قدیمی) دیگر وجود ندارند. همچنین، بررسی جزئیات (ارزیابی فوق) در سامانه‌های قدیمی بدون نیاز به وجود یک ریسک غیر قابل قبول می‌تواند در تضاد با بررسی جزئیات در ارزیابی سامانه-های کنونی باشد. در شرایطی که ارزیابی دقیق یک سازه ساخته شده دشوار باشد، باید بر روی گزینه درمان ریسک موجود تاکید شود.

۵-۴ ارزیابی سازه‌های استثنایی و یا رویدادهای خارق العاده

سازه استثنایی سازه‌ای است که طراحی آن فراتر از محدوده آئین‌نامه‌های موجود باشد. در صورت عملکرد ضعیف و بروز خرابی این سازه‌ها که عواقب شدیدی نیز به همراه دارند، باید برای آن‌ها ارزیابی ریسک انجام شود. ارزیابی ریسک هم‌چنین باید برای برخی از رویدادهای خارق العاده (پیوست ب را ببینید)، مانند طرح راهنماهایی چون آتش‌سوزی و برخی رویدادهای بحرانی، انجام شوند.

۵-۵ تهیه اطلاعات ریسک برای تصمیم‌گیری

هنگامی که چندین سیاست‌گذاری و یا مفاهیم اختیاری در دسترس هستند، سیاست‌گذاری مناسب باید بر اساس نتیجه ارزیابی ریسک تعیین شود. بهینه‌سازی مبتنی بر ریسک می‌تواند دو هدف اصلی داشته باشد:

الف- به حداقل رساندن ریسک در منابع محدود اقتصادی؛

ب- تعیین سطح بهینه سرمایه‌گذاری درکاهش ریسک.

در هر دوی این موارد، استفاده اختیاری از منابع اقتصادی به منظور کاهش بهینه ریسک باید در نظر گرفته شود.

گزینه‌ها باید با توجه به کاربری خالص، هزینه یا سود و یا مقرون به صرفه بودن هزینه‌ها، با هم مقایسه شوند، (پیوست ج را ببینید). اگر هدف از تصمیم‌گیری، به حداقل رساندن ریسک با در نظر گرفتن محدودیت‌های اقتصادی است، هر یک از این معیارهای فوق می‌توانند به کار روند، به شرطی که تمام راه‌حل‌های فنی با بهترین روش‌های عملی به کار رفته، سازگاری داشته باشند.

۶ تعریف سامانه

۶-۱ ارایه سامانه

اصولاً، ارایه سامانه باید تصمیم‌گیری را تسهیل کرده و از این‌رو، باید بر خاستگاه مهندسی سازه توصیف شده در بند ۵ منطبق باشند. تعریف سامانه دربرگیرنده سازه‌ها، باید حاوی یک شناسایی واضح از کارآیی‌های ارایه شده توسط سازه‌های فوق و این‌که چگونه این کارآیی‌ها با کمک اجزای سازه فوق ارایه می‌شوند، باشد. محدوده سامانه فوق که در ارزیابی ریسک بررسی می‌شود باید به طور واضح بر اساس خاستگاه مهندسی سازه مشخص شود.

۶-۲ شناسایی زیرسامانه‌ها

ویژگی‌های هر زیرسامانه، مانند نوع سازه (ها)، آئین‌نامه‌ها و استانداردهای مورد استفاده در طراحی سازه (ها)، کاربری، اهمیت، مکان و عمر مفید، باید مشخص شوند. حالت‌های حدی سامانه فوق نیز باید مشخص شود.

۷ شناسایی خطرات و عواقب

۷-۱ شناسایی خطرات احتمالی

در طی عمر کاری، سازه‌ها می‌توانند در معرض خطرات مختلف طبیعی و خطرات ناشی از انسان قرار گیرند. این خطرات می‌تواند باعث حوادث نامطلوبی شده که باید شناسایی شوند. برای آن خطراتی که می‌توانند باعث یک سری از حوادث در زمان و مکان (به عنوان مثال، آتش) باشند، تجزیه و تحلیل طرح راهنمای آن‌ها باید انجام گیرد. برای دستورالعمل دقیق در تجزیه و تحلیل طرح راهنمای آتش سوزی، به استاندارد بند ۲-۱ و [۳] مراجعه کنید.

۷-۲ شناسایی محدود طرح راهنما ها

پس از شناسایی یک خطر ممکن، طرح راهنماهایی به عنوان حوادث متوالی و یا ترکیبی از حوادث یا فرآیندهای حاصل از کارافتادگی سامانه و عواقبی نامطلوب حاصله از این سامانه (شامل سازه‌ها) باید شناسایی

شوند. روش‌های اساسی مورد استفاده برای ارایه نمایشی این طرح راهنماها شامل نمایش درختی خطاها و نمایش درختی وقایع است. یک طرح راهنما باید شامل فروریختگی یا آسیب بر این سازه (ها)، از دست دادن کارایی، فوت یا جراحت انسانی و سایر زیان‌های اقتصادی و یا اجتماعی ناشی از آن به ذی‌نفعان باشد.

۷-۳ شناسایی عواقب

عواقب ناشی از این خطرات و حوادث پس از آن باید شناسایی شوند. این (شناسایی ها) باید در غالب عباراتی از جمله ضررهای مالی، وقایع منجر به فوت وآسیب‌های زیست محیطی بیان شوند. بعضی از عواقب را می‌توان با تجزیه و تحلیل طرح راهنمایی در مورد گسترش اثرات آن در پی از کار افتادگی آن سامانه‌های سازه‌ای در زمان و مکان (مورد نظری) شناسایی کرد.

۷-۴ غربال‌گری خطر

۷-۴-۱ کلیات

اگر چه تمام خطرات احتمالی باید در نظر گرفته شود، ولی خطرات مهم برای یک سامانه باید بر اساس اهمیت آن‌ها انتخاب و در ارزیابی ریسک گنجانده شوند. از آن‌جا که هر خطری ویژگی‌های ذاتی و عواقب احتمالی خود را دارد، توصیه می‌شود خطرات براساس علت اصلی، میزان کمی آن و اهمیت عواقب آن‌ها طبقه‌بندی شوند. غربال‌گری خطرها بر حسب اهمیت آن‌ها برای ارزیابی ریسک، می‌تواند بر اساس تجربه و تخصص مهندس انجام شود. نتایج غربال‌گری خطر (موردنظر) باید ثبت شود.

۷-۴-۲ معیارهای غربال‌گری خطر

برای شناسایی خطرات مهم، برآورد ریسک مقدماتی (بند ۸-۱ را ببینید) باید انجام شود. معیار برای غربال-گری خطر، اصولاً بر اساس میزان ریسک فوق در برآورد ریسک مقدماتی است. تکرر خطر مورد نظر و یا اهمیت عواقبی مربوط به آن نیز می‌تواند معیار مفیدی باشد. خطرات با ریسک‌های قابل انکار مشهود در مقایسه با خطرات با سطح ریسک قابل قبول می‌توانند حذف گردند.

معیار غربال‌گری خطر با توجه به تکرر آن رویداد و اهمیت عاقبت آن باید به وضوح تشریح شود. معیارها ممکن است بر اساس تجربه گذشته، ادراک انسان و ارزش‌های مربوط مشخص شده در کاربردهای دیگر باشند.

۸ برآورد ریسک

۸-۱ انواع برآورد ریسک

۸-۱-۱ کلیات

برآورد ریسک باید با توجه به هدف این برآورد، مقدار لازم جزئیات، اطلاعات، داده‌ها و منابع در دسترس انجام گیرد. انواع برآوردهای فوق برحسب شرایط به سه دسته گسترده تقسیم می‌شود: کیفی، نیمه‌کمّی و کمّی؛ در عمل، اغلب از برآورد کیفی به عنوان برآورد ریسک مقدماتی، برای به دست آوردن یک دید کلی از سطح ریسک و آشکار شدن ریسک‌هایی که باید درنظر گرفته شوند، استفاده می‌شود. پس از این مرحله، ممکن است برآورد دقیق‌تر و کمّی‌تری بر روی آن ریسک انجام داد.

۸-۱-۲ برآورد کیفی

در برآورد کیفی، ریسک به صورت برداشت شخصی برآورد شده و به نحو توصیفی رتبه‌بندی می‌شود. برآورد کیفی به صورت‌های زیر باید مورد استفاده قرار گیرد:

۸-۱-۲-۱ به عنوان یک عمل غربال‌گری اولیه برای شناسایی ریسک‌هایی که نیاز به برآورد دقیق‌تری دارند؛

۸-۱-۲-۲ هر جا برآورد کیفی، اطلاعات کافی برای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند؛

۸-۱-۲-۳ هر جا داده‌ها و یا منابع برای یک برآورد کمّی کافی نباشد.

۸-۱-۳ برآورد نیمه‌کمّی

در برآورد نیمه‌کمّی، از یک مقیاس رتبه‌بندی گسترده‌تری نسبت به مقیاس مورد استفاده در برآورد کیفی باید استفاده شود. شایان ذکر است که اعداد انتخاب شده به درستی نمی‌توانند منعکس کننده نسبت‌های (این اعداد) باشد که این ناتوانایی می‌تواند منجر به نتایج غیر همگن، غیرعادی، یا نامناسب شود.

۸-۱-۴ برآورد کمّی

در برآورد کمّی به جای مقیاس‌های توصیفی در برآورد کیفی و نیمه‌کمّی باید از مقادیر عددی با استفاده از داده‌های موجود در منابع مختلف، هم برای وقوع عواقب و هم برای احتمال وقوع آن‌ها استفاده شود. کیفیت برآورد بستگی به دقت و کامل بودن مقادیر عددی و اعتبار مدل‌های مورد استفاده دارد.

۸-۲ داده‌ها برای برآورد (ریسک)

داده‌ها برای برآورد، باید از منابع مناسب اطلاعاتی گرفته شود. مرتبط‌ترین منابع اطلاعات و روش‌ها، باید برای برآورد احتمالات استفاده شود. منابع اطلاعات می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

۸-۲-۱ سوابق گذشته؛

۸-۲-۲ اطلاعات مرتبط و میدانی (جمع‌آوری داده‌های میدانی)؛

۸-۲-۳ داده‌های منتشر شده مربوطه (داده های تصادفی)؛

۸-۲-۴ آزمایش‌ها و نمونه‌های تولیدی؛

۸-۲-۵ مدل‌های مهندسی و دیگر مدل‌ها؛

۸-۲-۶ نظرات متخصصان و کارشناسان خبره (نظر کارشناسی).

۸-۳ ارایه ریسک

نتایج به دست آمده در برآورد ریسک باید با حداکثر شفافیت به ذی‌نفعان ارایه گردد، با تبدیل نتایج به یک مقیاس مشترک، برای مثال این‌کار برای مرگ و میر بالقوه، در پیوست ج انجام گرفته است. این نتایج سپس می‌تواند به احتمال وقوع خطرات مختلف مرتبط شده و با دیگر فعالیت‌های خطرناک و یا سطح ریسک دیگری مقایسه شود.

در ارایه کیفی ریسک، ریسک باید بر حسب اهمیت آن به بالا، متوسط یا پایین رتبه بندی شود. در ارایه کمّی، ریسک باید توسط ترکیبی از احتمال وقوع آن و عاقبت آن ارایه شود. انتظار عاقبت آن می‌تواند برای ارایه ریسک استفاده شود (پیوست چ را ببینید).

۸-۴ برآورد احتمال

۸-۴-۱ اصول

برآورد احتمالات را می‌توان توسط هر یک یا از سه روش زیر به دست آورد:

– برآورد مستقیم از داده‌ها؛

– استنتاج از یک مدل که احتمالات موردنظر را به دیگر احتمالات مرتبط می‌کند؛

– داوری مهندسی.

هرگاه هیچ‌گونه اطلاعات قابل اعتماد و یا سوابقی در دسترس نباشد، برآوردهای شخصی که منعکس کننده درجه اعتقاد یک فرد یا گروهی مبنی بر این که یک رویداد یا عواقب خاصی رخ خواهد داد، می‌تواند وجود داشته باشد.

به طور خاص، برای ترکیب تعداد محدود داده‌ها از انواع منابع مختلف، روش‌های استنتاج بیزین[1] پیشنهاد می‌شود.

برای اطلاع رسانی در مورد ریسک، ترجیح داده می‌شود بین ناپایداری‌ها در اثر تغییرپذیری طبیعت ذاتی، ناپایداری‌های مدل و ناپایداری های آماری تفاوت قایل شد. در حالی که نوع اول ناپایداری اغلب به عنوان ناپایداری شانسی[2] نامیده می‌شود، دو مورد آخر به عنوان ناپایداری معرفتی[3] نامیده می‌شود.

۸-۴-۲ احتمال وقوع خطر

احتمال وقوع هر خطر باید بر اساس اطلاعات گذشته آن (در صورت وجود) برآورد شود. اگر اطلاعات در دسترس نباشد باید از داوری شخص متخصص استفاده شود (پیوست پ را ببینید). توجه داشته باشید مهم است که ویژگی‌های خطر منعکس شود، هرچند یک خطر اغلب به سادگی توسط یک منحنی خطر نمایش داده می‌شود،.

۸-۴-۳ احتمال حالت محدود

احتمال حالت محدود با استفاده از دستورالعمل‌های زیر باید برآورد شود:

– مدل‌سازی عمل؛

– مدل‌سازی مقاومت؛

- تجزیه و تحلیل سازه‌ای (تجزیه و تحلیل پاسخ).

بر اساس داده‌های آماری از موارد فوق، احتمال حالت محدود را با استفاده یکی از روش‌های نظری یا روش-های آماری مانند شبیه سازی‌های مونتکارلو[4] می‌توان برآورد کرد.

برای نشان دادن احتمال حالت محدود مشروط، منحنی شکنندگی را می‌توان به صورت یک تابع که متغیر مستقل آن مقدار خطری است تعریف نمود (پیوست ت را ببینید).

1- Bayesian
2- Aleatory
3- Epistemic
4- Monte Carlo

۸-۵ برآورد عاقبت (ریسک)

عواقب با مدل‌سازی برون‌دادهای یک رویداد یا یک مجموعه از رویدادها، یا با داوری حاصله از مطالعات تجربی و یا از اطلاعات قبلی باید تعیین شوند. با توجه به وقوع یک رویداد اولیه و با در نظرگرفتن گسترش عواقب آن مطابق آنچه در بند ۷-۲ بیان شده، تجزیه و تحلیل یک طرح راهنما انجام می‌شود. ابزارهایی مانند تجزیه و تحلیل درختی خطا و تجزیه و تحلیل درختی واقعه توصیه می‌شود.

برای بیان وسعت میزان مرگ و میر و جراحت انسان‌ها و یا آسیب‌های زیست محیطی و خسارات اقتصادی، یک برآورد کمّی از یک عاقبت باید به صورت عددی بیان شود.

۸-۶ محاسبه ریسک

توزیع احتمالی عواقب یک بیان کمّی از کل پدیده یک ریسک بوده، که خود بر اساس این استاندارد بین-المللی ترکیبی از احتمال و عاقبت است. توزیع احتمال را می‌توان توسط یک تابع توزیع انباشته‌ای یا CDF[1] بیان کرد. همچنین هنگامی که این عاقبت یک مقدار گسسته است می‌توان این توزیع را با یک تابع جرم احتمالی یا PMF [2] بیان کرد و یا هنگامی که این عاقبت یک مقدار پیوسته است می‌توان توزیع فوق را با یک تابع چگالی احتمالی یا PDF [3] بیان کرد.

برای سهولت مقایسه ریسک، گاهی یک ریسک با یک مقدار عددی نشان داده می‌شود. در گذشته، یکی از روش‌های نمایش متداول E [C] بوده که انتظار وقوع این عواقب است. شرح این موارد در پیوست ت، بند ت-۲ و پیوست ث، بند ث-۱ آمده است.

۸-۷ تجزیه و تحلیل حساسیت

از آن‌جایی که برای حصول یک تصمیم منطقی، برخی از نتایج برآورد ریسک به اندازه کافی دقیق نیستند، باید به منظور بررسی اثر ناپایداری در مفروضات، مدل‌ها و اطلاعات، تجزیه و تحلیل حساسیت انجام شود. حساسیت بالاتر نشان‌دهنده نیاز به مراقبت و تلاش بیشتر در به دست آوردن داده‌ها و یا برآورد این متغیرها است. همچنین تجزیه و تحلیل حساسیت راهی برای بررسی مناسب بودن و اثربخشی گزینه‌های ممکن برای کنترل و ترمیم ریسک است.

۹ ارزشیابی ریسک

۹-۱ پذیرش ریسک

پس از برآورد ریسک، بر اساس مقایسه سطح آن با ملاک های از پیش تعیین شده، باید تعیین شود که سطح آن ریسک قابل‌قبول است یا خیر! اگر آن ریسک غیرقابل‌قبول بود، آن را باید به روش مناسبی ترمیم کرد.

۹-۲ معیار ریسک

به عنوان بخشی از تعیین اهداف مدیریت ریسک، معیارهای ریسک باید قبل از برآورد ریسک مشخص شود. می‌توان بر اساس مقررات و یا استانداردها، بررسی هزینه یا سود یا خالص سود دهی این معیارها را تعیین کرد.

1- Cumulative Distribution Function
2- Probability Mass Function
3- Probability Density Function

پس از برآورد ریسک، معیارهای ریسک بر اساس تجزیه و تحلیل و بهینه‌سازی هزینه یا سود، ممکن است اصلاح شود (پیوست الف را ببینید). اگرچه معیارهای ریسک به عنوان بخشی از مدیریت ریسک در ابتدا توسعه یافته‌اند، ولی هم چنان که ریسک‌های خاص شناسایی شده و دستورالعمل‌هایی برای برآورد ریسک انتخاب می شوند، این معیارها نیز بعداً می‌توانند به ترتیب بسط و بهبود یابند.

معیارهای ریسک باید با اهداف مدیریت ریسک هم‌خوانی داشته و منعکس کننده ارزش‌های جامعه و یا تصمیم‌گیرنده مربوط باشند. باید به جای رعایت آن ارگان ذی‌نفع، یک سطح ریسک قابل قبولی برای ارگان-هایی که از این مجموعه فعالیت‌های (حاصله از سامانه های حاوی سازه مورد نظر) بهره‌ای نمی‌برند، در نظر گرفت. معیار ریسک باید بر اساس ویژگی‌های ریسک‌ها از جمله موارد زیر تعیین شود:

آیا آن‌ها طبیعی بوده یا ساخته دست بشر هستند، داوطلبانه یا غیر داوطلبانه‌اند، مربوط به افراد مشخص بوده و یا نامشخص هستند و پدیده‌های شناخته شده‌ای بوده و یا جدید می‌باشند. به طور معمول برای نوع دوم از هر یک از جفت‌های ذکر شده در بالا، معیارهای محافظه‌کارانه بیشتری تنظیم می‌شود.

۱۰ ارزشیابی گزینه‌های ترمیم ریسک

۱۰-۱ کلیات

اگر سطح ریسک بالاتر از سطح قابل‌قبول باشد، ریسک باید ترمیم شود تا به پایین‌تر از سطح قابل‌قبول برسد. ترمیم ریسک شامل شناسایی طیفی از گزینه‌های ترمیم یک ریسک، ارزیابی این گزینه‌ها و آماده‌سازی و اجرای یک برنامه ترمیمی است.

۱۰-۲ تعیین گزینه‌ها

۱۰-۲-۱ کلیات

به منظورکاهش چشم‌گیر یک ریسک، بیش از یک گزینه ترمیم ریسک باید درنظر گرفته شود. گزینه‌ها را به طور کلی می‌توان به شکل زیر به چهار نوع طبق بندهای ۱۰-۲-۲ تا ۱۰-۲-۵ طبقه بندی کرد:

۱۰-۲-۲ پرهیز از ریسک

با تصمیم‌گیری عدم ادامه فعالیتی که احتمالاً منجر به تولید ریسک خاصی می‌شود، می‌توان از آن ریسک پرهیز کرد. از آن‌جا که با اجتناب از آن فعالیت و یا جانشین کردن آن با یک فعالیت اختیاری دیگر، ریسک دیگری می‌تواند به وجود آید، در صورتی‌که چنین گزینه‌ای در نظر گرفته شود باید این ریسک جدید نیز برآورد شود.

۱۰-۲-۳ کاهش احتمال و یا عواقب

احتمال بروز حوادث خطرناک به عنوان مثال با جابجایی سازه به یک منطقه کم خطر می‌تواند کاهش یابد. عواقب آن حوادث را به طور مثال با بازنگری طراحی آن سازه می‌توان کاهش داد. هزینه‌های مرتبط و اثرات دیگر چنین اقدام‌های اختیاری باید برآورد شوند.

۱۰-۲-۴ انتقال ریسک

بیمه یک نمونه عادی از انتقال ریسک است. یک سازمان می‌تواند بخشی از یک ریسک را با پرداخت هزینه‌ای ثابت، یعنی حق بیمه، با شخص دیگری به اشتراک بگذارد و با این روش ریسک را کاهش دهد. با انتقال

ریسک، سازمان اصلی می‌تواند این ریسک را کاهش دهد، اما مقدار کل ریسک برای کل جامعه تغییر نخواهد کرد .

۱۰-۲-۵ مهار ریسک

هنگامی که سطح یک ریسک پایین‌تر از سطح قابل‌قبول باشد، مسئولیت ریسک (موجود) باقی مانده می‌تواند به عهدهٔ یک سازمانی گذاشته شود. این سازمان باید به نتیجه مورد انتظار از ریسک موجود تن در دهد و بنابراین از طریق از دست دادن برخی از منابع مالی (مانند ذخیره مالی مجاز) باید برای مقابله با آن آماده باشد.

۱۰-۳ ارزیابی گزینه‌های ترمیم ریسک

براساس مقایسه گزینه‌ها از نظر هزینه و سود، مناسب‌ترین گزینه‌های ترمیم باید انتخاب شود.

نسبت هزینه به سود و ملاک های ارزشی مربوط به تصمیم‌گیرندگان و دیگر ذی‌نفعان و در حد امکان مربوط به جامعه نیز باید درنظر گرفته شوند. کلیه هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم، سودها و زیان ها، اعم از ملموس و غیرملموس[1]، مالی یا غیره در محدوده تعیین شده باید بررسی شوند. در این ارزیابی، الزامات مربوط به مسئولیت قانونی و اجتماعی باید در نظر گرفته شود.

اگر بودجه برای ترمیم ریسک محدود باشد، ارزیابی (ریسک) باید هم‌زمان با بررسی درجه اولویت ترمیم‌های یک ریسک (که باید انجام شود)، صورت پذیرد. این مهم است که هزینه اقدام نکردن با مقدار صرفه‌جویی در بودجه مقایسه شود. همچنین باید درنظر داشت که عواقب نامتعارف ولی شدید نیاز به اقدام‌های ترمیمی دارند که این اقدام‌ها به دلیل بار اقتصادی سنگین، توجیهی ندارند.

تاثیرگذاری هرگزینه باید با تجزیه و تحلیل حساسیت، سنجیده شود.

۱۰-۴ اجرای ترمیم ریسک

پس از ارزیابی گزینه‌های ترمیم ریسک، مناسب‌ترین گزینه ترمیم باید انتخاب و اجرا شود. از آن‌جای که ترمیم ریسک می‌تواند باعث ریسک‌های جدید شود، بنابراین این ریسک‌های جدید باید شناسایی، ارزیابی، ترمیم و پایش شوند.

چندین گزینه را می‌توان به‌طور ترکیبی با هم استفاده نمود.

پس از ترمیم، باید برای مهار ریسک باقی‌مانده و یا تکرار آن فرایند ترمیم ریسک تصمیم گرفت.

۱۱ گزارش

باید شامل اطلاعات کافی برای تصمیم‌گیران باشد. نتایج نهایی باید به یک شکل مناسبی ارایه شوند تا ذی-نفعان را مجاز به اخذ تصمیم‌هایی در چارچوب مدیریت ریسک نماید.

گزارش ارزیابی سامانه‌های دربردارنده سازه‌ها، باید شامل موارد زیر باشد:

1- Tangible or intangible

۱-۱۱ تعریف آن سامانه؛

۲-۱۱ خطر(های) شناسایی شده؛

۳-۱۱ نتیجه‌گیری‌های حاصل از ارزیابی و ریسک (قابل پذیرش یا غیر قابل پذیرش) برای آن سامانه؛

۴-۱۱ توصیه‌هایی برای ترمیم ریسک (بررسی هزینه به سود)؛

۵-۱۱ برنامه پایش بر روی و اطراف آن سامانه؛

۶-۱۱ اطلاعات ثبت شده.

پیوست الف
(اطلاعاتی)
اصول ارزیابی ریسک

الف-۱ بیان مسئله

در بسیاری از زمینه‌ها به منظور فراهم نمودن اطلاعات ورودی برای رده‌های مختلف تصمیم‌گیری از مشکلات فنی ساده تا ساخت سیاست‌گذاری مدیریت، تجزیه و تحلیل‌های ریسک انجام می‌شود. تصمیم‌گیرندگان و ذی‌نفعان در تعداد و درجه آگاهی شان با هم متفاوت هستند. تنوع موقعیت‌های تصمیم‌گیری، یک چالش برای تحلیل‌گر ریسک بوده که چگونه ریسکی را ارایه دهد که به نحوی در خدمت تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد و همچنین تحلیل ریسک را به یک ابزار مفید در فرآیند تصمیم‌گیری تبدیل کند.

از آن‌جایی که تصمیم‌ها معمولاً کارهای چند منظوره هستند و باید در محدوده‌های انعطاف ناپذیر اقتصادی و اداری حل و فسخ شوند که این خود به پیچیدگی کار می‌افزاید. در ابعاد سیاسی (که تصمیم‌ها در سطوح بالا اخذ می‌شوند) فرآیند تصمیم‌گیری کم و بیش بر اساس مذاکره و اجماع نظر است که معمولاً مبتنی بر منطق ریاضی نیست.

ارایه نظری ریسک، از جمله ارزش مورد انتظار تمام عواقب نامطلوب آن، نمی‌تواند به سادگی پاسخ کافی را برای تصمیم‌گیران در زمینه تصمیم‌گیری‌های پیچیده، فراهم کند. برای پاسخ به سوال‌های مانند موارد زیر اطلاعات بیشتری لازم است:

- چه گروه از مردم از ترمیم ریسک سود برده و یا متضرر می‌شوند؟
- آیا احتمال $۱۰^{-۵}$ در تلفات مرگ و میر در سال به معنی ریسک بالا است؟
- آیا ریسک می‌تواند کاهش یابد؟ چگونه و با چه هزینه‌ای؟
- راه‌حل‌های اختیاری[1] چه هستند؟

تاثیر تجزیه و تحلیل ریسک بر تصمیم‌ها، به اعتبار نتایج تجزیه و تحلیل ریسک و ارتباط آن‌ها به مشکل (مورد) تصمیم‌گیری بستگی دارد. در حالی که ویژگی‌هایی مانند انسجام و شفافیت (در تجزیه و تحلیل ریسک) به اعتبار آن کمک می‌کنند، داشتن آگاهی درباره سامانه مورد تجزیه و تحلیل نیز برای یک ارایه ریسک مرتبط به آن سامانه لازم است. برای اعتبار بخشی و ربط تجزیه و تحلیل ریسک، لازم است یک آگاهی مشترک بین تصمیم‌گیر و تحلیل‌گر در مراحل اولیه این تجزیه و تحلیل ایجاد شود. آگاهی فوق باید شامل موارد زیر باشد:

الف-۱-۱ مفهوم ریسک، چه جنبه‌هایی از ریسک را شامل شده است؟ تجزیه و تحلیل باید بر اساس چه نوع دانشی باشد؟

الف۱-۲ دامنه تجزیه و تحلیل ریسک، شامل درک سامانه‌ها، تعاریف و محدودیت‌ها هستند.

الف-۱-۳ هدف ازتجزیه و تحلیل، مشکل تصمیم‌گیری وگزینه‌های تصمیم چه هستند؟

الف-۱-۴ ارایه ریسک، مفیدترین نمایش ریسک برای تصمیم‌گیرندگان و ذی‌نفعان چیست؟

1- Optional

الف-۱-۵ ارزشیابی ریسک و تصمیم‌گیری، شامل تفسیر نتایج حاصل ریسک، معیارهای ارزشیابی و نقش تجزیه و تحلیل ریسک در تصمیم‌گیری هستند.

یادآوری – موارد فوق به صورت مفهومی[1] به هم متصل هستند و لازم است این موارد با هم همسو باشند. این به آن معنی نیست که در بحث ارایه ریسک به مسایل دیگر توجهی نشود. این پیوست به منظور توصیه به تصمیم گیرندگان و تحلیل‌گران ریسک در زمینه ارتباطات ریسک، را تشریح می‌نماید.

الف-۲ مفهوم ریسک

زبان‌های حرفه‌ای مختلف دارای مفاهیم مختلف ریسک و ارزیابی ریسک هستند که می‌تواند منجر به سردرگمی و مشکلات ارتباطی در این زمینه شوند. برخی از مفاهیم ریسک عبارتند از:

- مفهوم ریسک بر پایه نظری تصمیم‌گیری بر اساس احتمالات و عواقب رویدادهای نامطلوب؛
- مفهوم ریسک اقتصادی با ملاحظه عدم اطمینان از برون دادها؛
- درک روانشناختی ریسک به صورت ادراکات شخصی یا گروهی؛
- تفسیر اجتماعی ریسک به عنوان یک مشکل چند بعدی شامل جنبه‌های سیاسی و فنّی.

مفاهیم مبتنی بر فرضیات مفهومی مختلف باید قبل از تجزیه و تحلیل ریسک روشن شوند که چه نوع دانشی، پایه‌ای معتبر و مرتبط برای تجزیه و تحلیل ریسک را فراهم می کنند؟ لازم است در این مورد تحلیل‌گر و تصمیم‌گیرنده به منظور رسیدن به زبان مشترک به توافق برسند.

مشکلات مفهومی متعددی در ارتباط با تجزیه و تحلیل ریسک وجود دارند. علاوه بر این دیدگاه‌های مختلف حرفه‌ای در ریسک، نظرات مختلف در استفاده از داده‌های کمّی در مقابل داده‌های کیفی در تجزیه و تحلیل ریسک وجود دارد. چالش مفهومی قابل‌توجهی نیز با توجه به طبیعت تجزیه و تحلیل ریسک، یعنی فاصله زمانی بین زمان مربوط به سوابق داده‌های موجود و زمان مورد نظر در تجزیه و تحلیل یعنی آینده، وجود دارد. هیچ کس نمی‌تواند آینده را ببیند. چگونه می‌توانیم از مشاهدات حال و گذشته برای پیش‌بینی آینده استفاده کنیم؟ مشکل نهایی در مورد دانشی که در این‌جا ذکر شده، این است که دیدگاه‌های مختلفی در مورد ماهیت دانش یا مواضع مفهومی وجود دارد.

دو جهت اصلی مفهومی، عینی گرایی و ذهن‌گرایی هستند. عینی گرایان فرض می‌کنند که حقایق می‌توانند به طور عینی بدون این که تحت تاثیر تفاسیر و داوری‌های ذهنی این تحلیل‌گران قرار گیرد، مشاهده و تجزیه و تحلیل شود. علم بر پایه اصل بی‌طرفی بنا شده است. عینی گرایی اساس معرفت شناختی برای علوم مهندسی است.

ذهن‌گرایان ادعا می‌کنند که حقایق نمی‌توانند به طور عینی توسط کسی که در حال مشاهده است، دیده شوند. بی‌طرفی غیرممکن است. چون مشاهدات توسط این تحلیل‌گر داوری می‌شود، پس آن‌ها دارای ساختارهای اجتماعی و فرهنگی هستند. درحالی که نسبی‌گرایان بیان می‌کنند که ریسک صرفاً یک ادراک بدون واقعیت است، ساختارگرایان می‌گویند ریسک یک تفسیر ذهنی از واقعیت است. بیشتر علوم اجتماعی متعلق به ذهن‌گرایان است.

می‌توان هر دو گروه نسبیت‌گرایان و عینی گرایان را برای تقلیل‌گرایی[2] به نحو زیر مورد نکوهش قرار داد:

1- Epistemologically
2- Reductionism

نسبی‌گرایان را به علت نگاه کلی به علم و مادی‌گرایان را برای ایمان ساده‌لوحانه به علوم خنثی؛ شریدر فرچت[1] در سال۱۹۹۱ میلادی یک رویکرد سوم به نام رویه‌گرایی[2] علمی ارایه کرد که بیان می‌کند می‌توان آگاهی معتبری را با استفاده از روش‌های علمی و نه بر اساس داده‌های عینی به دست آورد. او مجموعه‌ای از قوانین دستورالعملی علمی را برای حصول نتایج علمی معتبر جهت تجزیه و تحلیل‌های ریسک با کمک استدلال منطقی، آگاهی کامل و آزمون شرایط بحرانی ارایه می‌دهد.

در زمینه مهندسی، در دهه گذشته چارچوب‌های مدل‌سازی با انعطاف‌پذیری بیشتر، مورد توجه روزافزون قرار گرفته‌اند. یکی از این چارچوب‌ها استفاده از مدل‌های شبکه‌ای بیزین[3] و روش‌های نموداری تاثیرگذار مشابه است که برای استدلال در هنگامی که دسترسی به دانش معتبر وجود ندارد، کاربری دارد. به منظور برآورد پارامترها، داوری کارشناسی و هم‌چنین داده‌های آماری در این مدل‌ها استفاده می‌شوند. این چارچوب، عملکرد عوامل انسانی و سازمانی را مدنظر قرار داده و آن‌ها را با یک روش کمّی دقیقی ترمیم می‌کند [۸].

بدیهی است مفروضات مفهومی بر رویکرد ما در ارزیابی ریسک اثر می‌گذارند. دید ما از ریسک، فرآیند و روش به کار رفته در تجزیه و تحلیل ریسک (به عنوان مثال یک تجزیه و تحلیل تخصصی در مقابل فرآیندهای استدلالی)، منابع علمی و استفاده ازداده‌ها، ترمیم ناپایداری‌ها و نمایش ریسک را انتخاب می‌کند. برای جلوگیری از سردرگمی و اختلاف‌نظر در نحوه نمایش ریسک، پیش از تجزیه و تحلیل ریسک، مفهوم ریسک باید توسط تحلیل‌گران و تصمیم‌گیرندگان مورد بحث و شفاف سازی قرار گیرد.

الف-۳ محدوده تجزیه و تحلیل ریسک

سامانه‌های متفکر در زمینه ریسک در حال رشد هستند. رویکرد سامانه‌ها را می‌توان به صورت نگاهی جامع به یک مجموعه اجزا متصل به هم و نه بخش‌های جدا از هم، توضیح داد. طراحی درسامانه‌های مهندسی، دارای یک ماهیت فنی- اجتماعی و چند رشته ای[4] است و فرد باید تفکر کلی‌نگر (و نه جزئی‌نگر) داشته باشد و تصویر بزرگی از ارتباط بین عناصر داشته باشد [۴]. اثر کلاسیک چارلز پرو[5] در نظریه حوادث معمول[6] [۵] در دهه ۱۹۸۰میلادی و ۱۹۹۰میلادی به ما یادآوری می‌کند که سامانه‌های متفکر مرتبط با موضوع ایمنی پدیده‌ای جدید نیستد.

در یک رویکرد سامانه‌ها، ایمنی به عنوان یک خروجی حاصله از یک سامانه پیچیده (که دارای ویژگی‌هایی است که با هم در حال تعامل و سازگاری هستند) درنظر گرفته می‌شود. ریسک مربوط به اجزا سازه‌ای از جمله جاده‌ها و ساختمان ها، با توجه به محیط و کاربران آن‌ها ارزیابی می‌شود. طراحی سخت‌افزار و نرم‌افزار امن در سامانه‌های پیچیده در واقع طراحی استفاده ایمن[7] به جای طراحی محصولات ایمن[8] است [۱۰].

از آن‌جا که شرح سامانه برای ارایه یک مدل مناسب جهت ارزیابی ریسک باید شامل تمام عوامل مربوط به ریسک باشد، لازم است در این تعریف، سامانه و تجزیه و تحلیل محدود شوند.

چه چیزی مدل شده و چه چیزی نباید برای ارزیابی اعتبار نتایج ریسک به صراحت شناسایی و تشریح شوند.

2- Schrader-Frechette
3- Proceduralism
4- Bayesian
5- Multi-disciplinary
5- Charles Perrow
7- Normal
8- Designing safe use
9- Designing safe products

الف-۴ هدف از تجزیه و تحلیل ریسک

پروژه‌ها و مراحل مختلف یک پروژه به محدوده‌های مختلفی از تجزیه و تحلیل ریسک نیاز دارند. در مرحله طراحی، هدف به نوعی انتخاب بهترین راه‌حل در میان گزینه‌ها و داوری در مورد این که آیا راه‌حل مورد نظر به اندازه کافی امن و از لحاظ فنی بهینه است، می‌باشد. در مرحله کاربری، محدوده تجزیه و تحلیل ریسک معمولاً ارزیابی مشکلات ایمنی و بررسی مقدمات برای اقدامات درمان ریسک است. در همه سطوح، گزینه‌های مختلف برای تصمیم‌گیری‌ها باید معین شده و در جهت بهینه‌سازی راه‌حل نهایی ارزیابی شوند.

مشکل تصمیم‌گیری و هدف از تجزیه و تحلیل ریسک باید آگاهانه و به عنوان یک نقطه شروع برای این تجزیه و تحلیل در نظرگرفته شود. تجربه نشان داده که هدف از تجزیه و تحلیل ریسک اغلب بدیهی فرض شده و به اندازه کافی در جهت مشکل تصمیم گیری معینی نمی‌باشد.

هال و همکاران[1] [۱۰] در هر مرحله از فرآیند طراحی، فعالیت‌های مدیریت ریسک خاصی را توصیه می‌کنند: از جمله مرحله اول، شامل گسترش و توسعه گزینه‌ها و انتخاب بهترین راه‌حل با رعایت اهداف پروژه با انجام تجزیه و تحلیل ریسک مفهومی است. این گزینه‌ها باید با توجه به معیارهای ضمنی و آشکار ریسک ارزشیابی شوند. با بررسی جزئیات بیشتر، راه حل انتخابی باید بهینه‌سازی و داوری شود که آیا موانع ایمنی ذاتی (برای پرهیز از ریسک در روش فوق) به طور کافی بر اساس تجزیه و تحلیل ریسک اجرایی شده‌اند یا خیر؟

تدوین گزینه‌های مختلف، اختلاف‌های بین راه‌حل‌های مختلف ریسک را بیشتر مشخص می‌کند تا این که صرفاً داوری بر آن شده باشد که آیا ریسک فوق قابل قبول است یا خیر. همچنین در طراحی با جزئیات بیشتر و در مرحله بهره‌برداری، راه‌حل مورد نظر را می‌توان با تدوین گزینه‌ها بهینه‌سازی کرد. پس یک تجزیه و تحلیل ریسک بدون امکان تصمیم‌گیری اختیاری، تاییدی بر آن ریسک بوده و ابزاری برای بهبود ریسک نیست.

الف-۵ ارزشیابی ریسک و تصمیم‌گیری

امروزه تعدادی از روش‌های ارزشیابی ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرند. ارزشیابی ریسک کمّی شده می‌تواند بر حسب معیارهای مطلق از انواع مختلف از جمله تواتر و تعداد، F-N، خطوط معیار، بیان یک حد بالا از ریسک قابل‌قبول و یا تعداد مرگ و میر باشد. انواع دیگری از معیارهای ارزشیابی مطلق، استانداردهای فنی و الزامات قانونی و نظارتی هستند. به تازگی، معیارهایی برگرفته از اقتصاد مانند نسبت هزینه به سود و ملاحظات سود قابل انتظار حداکثر، به عنوان ابزاری برای ارزشیابی ریسک جامع‌تر مورد توجه قرار گرفته اند. همچنین ارزشیابی‌های ریسک با استفاده از روش‌های کیفی از قبیل مقایسه با بهترین نمونه و داوری‌های حرفه‌ای نیز انجام می‌شوند.

معیارهای مطلق از سادگی بهره‌مندند و بنابراین واضح هستند و استفاده از آن‌ها ساده به نظر می‌رسد. با این وجود، در حالی که ارزشیابی و تصمیم‌گیری را ساده می‌کنند، ولی لزوماً منجر به یک راه‌حل پذیرفته شده مشترکی نمی‌شوند. در واقع می‌توان استدلال کرد که هیچ‌کس نمی‌تواند سطح ریسکی را تعیین کند که لزوماً توسط یک شخص دیگر قابل قبول باشد. ادراک ریسک، منطق ریاضی ندارد. به عنوان مثال، اکثر مردم ریسک مربوط به رانندگی یک خودرو را می‌پذیرند، اما سقوط سنگ و یا آتش‌سوزی در تونل‌ها را نمی‌پذیرند. درجه کنترل‌پذیری و منافع مرتبط با ریسک فوق بر سطح قابل قبولی آن اثر می‌گذارد.

1- Hale

خطوط معیار F-N [1] نیز لزوماً به راه‌حل‌های بهینه‌ای منجر نمی‌شوند. کرون و مایس[2] [۱۱] با محاسبه ریسک مرتبط با هفت منحنی F-N، مشکل را نمایش داده‌اند. دیده شده که ریسک ذاتی[3] به شدت وابسته به شکل منحنیF-N است. محاسبات نشان می‌دهد که یک منحنی F-N خاص، که با استفاده از خط معیار معینی، قابل‌قبول نیست، می‌تواند نسبت به یک سامانه رقابتی دیگر که با استفاده از همان خط معیار قابل قبول است، بسیار امن‌تر باشد. بنابراین، استفاده از معیارهای F-N می‌تواند، منجر به تصمیم‌گیری‌های غیرمعقولی شود و ممکن است این معیارها به آن اندازه که برای ارزشیابی و مقایسه ریسک مناسب هستند در این‌جا مطلوب به نظر نرسند.

برای تصمیم‌گیرنده‌هایی که می‌خواهند از مسئولیت تصمیم‌گیری‌های کم‌طرفدار یا گران‌قیمت اجتناب کنند، معیارهای پذیرش ریسک مطلق می‌تواند مطلوب باشد. مقصر شناختن تجزیه و تحلیل ریسک در تصمیم‌گیری‌های دشوار غیرمعمول نیست و با عدم تصمیم‌گیری‌های مکانیکی (ساده) بر اساس معیارهای مطلق می‌توان از آن اجتناب نمود.

ریسک قابل‌قبول نمی‌تواند به طور نظری از پیش تعریف شده باشد و یا هم‌چنین بدون توجه به گزینه‌های مختلف برای آن، مورد بررسی قرار گیرد. تصمیم ها در مورد ریسک باید شامل همه جوانب مثبت و منفی گزینه‌های تصمیم‌گیری، از جمله گزینه انجام ندادن هیچ کاری باشد.

این مبانی یک فرآیند تصمیم‌گیری مبتنی بر ریسک را به شرح زیر پیشنهاد می‌کند:

الف- ایجاد یک فهم مشترک از مفهوم ریسک فوق، محدوده و هدف از تجزیه و تحلیل این ریسک، ارایه ریسک، ارزشیابی ریسک و تصمیم‌گیری؛

ب- ایجاد راه‌حل‌های اختیاری؛

پ- ارزیابی گزینه‌ها با انجام تجزیه و تحلیل ریسک؛

ت- مقایسه و بررسی گستره گزینه‌ها بر اساس معیارهای صریح مانند بهینه‌سازی سود ابزار و یا اثربخشی هزینه؛

ث- بحث در مورد این که آیا گزینه انتخاب شده به اندازه کافی ایمن است، و نیاز آن به بهینه‌سازی‌های فنی و اثرات آن بر اهداف دیگر.

در حالی که تحلیل‌گر ریسک مسئول گام‌های سوم و چهارم است، تصمیم‌گیر مربوط مسئول گام پنجم است. در دو مرحله اول باید تحلیلگر و همچنین تصمیم‌گیر درگیر فرآیند باشند و ترجیحاً همچنین ذی‌نفعان و کاربران سامانه مورد تجزیه و تحلیل نیز می توانند درگیر باشند.

۱- Frequency and Number

2- Kroon and Maes

3- Inherent risk

پیوست ب
(اطلاعاتی)
مثال‌هایی از رویدادهای خارق العاده و سازه‌های استثنایی برای ارزیابی ریسک

ب-۱ رویدادهای خارق‌العاده

ب-۱-۱ یک رویداد خارق‌العاده، یک رویداد بسیار نادری است که باعث عواقبی بسیار شدید می‌شود.

ب-۱-۲ رویدادهای خارق‌العاده را با توجه به علل آن‌ها می‌توان به دو دسته عمده تقسیم نمود، رویدادهای طبیعی و رویدادهای با منشا انسانی.

ب-۱-۳ برخی از نمونه‌های رویدادهای خارق‌العاده طبیعی عبارتند از: زلزله بزرگ، سونامی، طوفان، گردباد سهمگین، امواج اقیانوسی خارق‌العاده، فوران آب‌دار متان، فوران آتشفشانی، رانش زمین، جریان آوار سطحی، سقوط سنگ، بهمن، سیل، طوفان برف سنگین، یخزدگی، یخزدگی هوا، و غیره.

ب-۱-۴ رویدادهای خارق‌العاده ساخت بشر می‌توانند عمدی یا غیرعمدی باشند. علل این رویدادها متفاوت است، اما عواقب آن می‌تواند مشابه باشد. نمونه‌هایی از حوادث خارق‌العاده ساخته بشر عبارتند از: آتش‌سوزی شدید، انفجار گاز، انفجار بمب، اصابت پرتابه از وسیله نقلیه، کشتی، چرخبال و یا هواپیما، برخورد قطار یا کامیون، تغییر شکل زمین در اثر معدن‌کاری، فرسایش فاجعه‌بار، خطای انسانی مطلق و غیره.

یادآوری۱- برخی رویدادهای عوامل طبیعی مانند رانش زمین و افتادن سنگ، می‌توانند ناشی از فعالیت‌های انسانی باشند.

یادآوری۲- برخی رویدادها مانند فرسایش، می‌توانند دراثر عوامل طبیعی رخ دهند.

ب-۲ سازه‌های استثنایی

ب-۲-۱ سازه‌ای که فراتر از محدوده آئین‌نامه‌های طراحی موجود باشد، مانند بناهای تاریخی و پل‌ها و سقف‌های با طول دهانه فوق العاده بزرگ، یک سازه استثنایی است.

ب-۲-۲ سازه‌ای استثنایی است که با از دست رفتن کارایی آن تاثیرات بسیار منفی و بسیار مهمی در یک جامعه بگذارد، به عنوان مثال نیروگاه‌های هسته‌ای، سازه‌های حاوی مواد بسیار سمی.

ب-۳ موقعیت‌های توصیه‌شده برای ارزیابی ریسک

ب-۳-۱ در شرایطی که رویدادهای خارق‌العاده‌ای می‌توانند رخ دهند و یا سازه های استثنایی مورد بررسی قرار می‌گیرد، ارزیابی ریسک مفید است.

ب-۳-۲ در مواردی که سطح قابل‌قبول از نظر اجتماعی ریسک در زندگی انسان و بهداشت و هم‌چنین به دارایی‌ها، محیط‌زیست و میراث تاریخی از حد قابل قبولی بیشتر شود، ارزیابی آن ریسک ضروری است.

ب-۳-۳ نمونه‌هایی از شرایطی که در آن‌ها ارزیابی ریسک توصیه شده به شرح زیر است:

- پل‌هایی با طول دهانه بسیار بزرگ به خصوص پل‌های معلق و پل‌های کابلی، که در آن‌ها برخی رویدادهای ممکن خارق‌العاده از جمله موارد زیر در نظر گرفته می‌شود، مانند ضربه کشتی‌ها ناشی از ترافیک رودخانه یا

کانال یا کشتی‌های دریاپیما، اصابت وسایل نقلیه جاده‌ای، قطارها، چرخبال‌ها یا هواپیماها، تندباد یا طوفان، خوردگی‌های فاجعه‌بار؛

- سقف‌هایی با دهانه بزرگ، به ویژه سازه‌های با وزن بسیار کم که در نمایشگاه‌ها، سالن‌های ورزشی و کنسرت‌ها، استادیوم‌ها و محیط‌های وسیع به کار رفته‌اند و در معرض یک یا چند رویداد بالقوه خطرناک مانند وزن برف شدید، طوفان یا گردباد شدید، آتش‌سوزی داخلی، خوردگی فاجعه‌بار و خطای انسانی محض هستند؛

- نیروگاه‌های هسته‌ای که به نوعی در معرض انفجارهای درونی و آتش‌سوزی‌های بزرگ، زلزله ها، اصابت پرتابه‌ها (خمپاره یا گلوله توپ یا راکت)، چرخبال و یا هواپیما، و حمله‌های تروریستی هستند؛

- سازه‌های حاوی مواد بسیار سمی و زباله‌های خطرناک، مخازن ذخیره‌سازی گاز طبیعی مایع، خطوط لوله انتقال نفت و گاز طبیعی با درنظر گرفتن برخی رویدادهای خارق‌العاده ممکن مانند زلزله، رانش زمین، تغییرشکل زمین در اثر معدن‌کاری، انفجار و آتش‌سوزی داخلی، ضربه‌پذیری از پرتابه‌ها (خمپاره یا گلوله توپ یا راکت) و حمله های تروریستی؛

- بلایای عظیم طبیعی و صنعتی در مناطق شهری که اهم آن‌ها عبارتند از: زلزله های بزرگ، سونامی، فوران آتشفشانی، جاری شدن سیل از رودخانه‌ها و دریا، طوفان و حوادث بزرگ صنعتی ناشی از نیروگاه‌های هسته-ای، کارخانه‌های بزرگ شیمیایی و سازه‌های ذخیره‌سازی برای مواد بسیار سمی و یا مواد منفجر.

پیوست پ
(اطلاعاتی)
روش‌هایی برای ترمیم دیدگاه‌های تخصصی

پ-۱ یک ارزیابی ریسک به اطلاعات احتمالاتی برای کیفی سنجی ناپایداری‌های ذاتی و یا وابسته به شانس نیاز دارد. چنین ناپایداری‌هایی با تجزیه و تحلیل پایگاه‌های بزرگ آماری حاصل از تجربه کارکردی و مطالعات تجربی یا میدانی به بهترین شکل تعریف شده‌اند. با این حال، در خیلی از موارد، داده‌ها با توجه به گستردگی و یا کیفیت غیر کافی آن‌ها نمی‌توانند ابزارهای کیفی مطمئن و مناسبی در ارزیابی ریسک ایجاد نمایند. در چنین مواردی، اغلب لازم است که بر استفاده از نظرات افراد خبره تکیه کرد، که (این نظرات) از اطلاعات کیفی توسط افراد درگیر با پارامتر مورد بررسی، قابل‌حصول می‌باشند. البته چنین اطلاعاتی به شدت به تجربه، دانش، داوری و مهارت ارتباطی فرد خبره مورد نظر متکی است. هر چند به طور کلی، یک خبره به عنوان یک فرد با مهارت بالا که درحد مناسبی آموزش دیده و دارای تجربه و دانش در برخی از زمینه‌های خاص است، شناخته می‌شود. در انتخاب خبرگان باید دقت زیادی صورت گیرد و حداقل برخی از نظرهای آنان را باید در برابر اطلاعات معلومی محک زد. یک معیار ساده برای انتخاب یک فرد خبره این است که وی توسط دیگران نیز به همین عنوان شناخته شده باشد.

وینکلر[1] [۲۱] راهنمایی‌هایی را برای انتخاب خبرگان به شرح زیر ارایه کرده است: خبرگان می‌توانند از طریق جستجوی مقاله‌های آن‌ها و یا عضویت در سازمان‌های حرفه‌ای، شرکت‌های مشاوره، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، سازمان‌ها و دانشگاه‌های دولتی شناخته شوند. وقتی اختلاف نظر وجود دارد، گاهی اوقات فرآیند انتصاب رسمی استفاده می‌شود. روند انتصاب باید به دور از تعصب در انتخاب انجام گیرد. اولین قدم دعوت ذی‌نفعان و طرف‌های علاقه‌مند به نامزدی برای انتخاب افراد خبره است. گام دوم استفاده از پانل انتخاباتی توسط طرف‌های مستقل برای ارزشیابی نامزدها است.

این معیار انتخاب باید ویژه و قابل استناد بوده و شامل موارد زیر باشد:

- شواهد دال بر تجربه و تخصص مانند مقاله‌های منتشره در مجله‌ها، یافته‌های پژوهشی، درجات و گواهینامه‌ها، موقعیت‌های شغلی، جوایز و مانند این‌ها؛
- جایگاه در جامعه علمی مانند آگاهی از کیفیت، اهمیت و ارتباط کار شخص نامزد شده و توانایی داوری کردن این موضوع (ها) توسط شخص نامزد در موارد مورد بحث؛
- در دسترس بودن و تمایل به همکاری؛
- درک از کلیات محدوده مساله؛
- بی طرفی از جمله نداشتن هرگونه ارتباط مالی با نتایج بالقوه پروژه؛
- داشتن تعدد در دیدگاه‌ها.

پ-۲ نظر فرد خبره به عنوان یک ارزیابی شخصی، ارزشیابی، عقیده یا برآوردی از کیفیت یا کمیت موضوعی که به نظر خود فرد خبره درست، معتبر یا ممکن می‌رسد تعریف شده است [۱۲]. نظر فوق در

1- Winkler

مورد یک مطلب مورد نظر اغلب بر اساس اطلاعات نامعین یا ناقص است. در نتیجه یک فرد خبره ممکن است اطلاعات نادرستی را به‌طور غیر عمد ارایه دهد. تعدادی روش استنتاج و ارزیابی وجود دارد که نظرات افراد خبره را جمع‌آوری کرده تا میزان نسبتاً بالایی از یک اجماع و هماهنگی در میان این خبرگان حاصل شود. نظرات خبرگان را می‌توان توسط روش های زیر([۱۲] و [۱۹]) به دست آورد:

پ-۲-۱ روش روی هم گذاری نظرات شخصی، متوسط وزنی از اطلاعات حاصله از خبرگان؛

پ-۲-۲ روش‌های تکرار شونده، تغییر سطوح تعامل میان نظرات حاصله از خبرگان قبل از اعلام نظر و به دنبال آن مرور نتایج به منظور ویرایش نظرات خبرگان. این فرآیند تا زمان رسیدن به اجماع کامل تکرار می-شود. پاسخ های خبرگان بدون توجه به نام آن‌ها برای حفظ استقلال پاسخ‌ها، بررسی می‌شود. روش‌های معمول شامل روش دلفی[۱] و روش گروه نامی[۲] هستند؛

پ-۲-۳ روش‌های تعاملی، هم‌اندیشی خبرگان برای شناسایی و سامان‌دهی داده‌های احتمالاتی موردنیاز؛

پ-۲-۴ روش تحلیلی روش رویهم گذاری بیزین[۳] نظرات خبرگان بر اساس اعتبار هر کدام از آن‌ها.

پ-۳ استنباط نظرات خبرگان، می‌تواند حاصل از مصاحبه‌های حضوری و یا پرسشنامه‌های نوشته شده باشد. سوالات می‌توانند از نوع کیفی یا کمّی باشند. به عنوان مثال، از سوالات کیفی می‌توان برای بررسی صحت اعتبار داده‌های تجربی مربوطه یا اطلاعات میدانی یا فرضیات مدل‌سازی استفاده کرد. سوالات کمّی می‌توانند شامل برآوردهای احتمالاتی مانند میانگین، میانه، واریانس، حد بالا و پایین، حد اعتبار و نوع توزیع احتمالی باشد. چنین استنباطی می‌تواند در قالب‌های زیر باشد:

- داوری احتمالاتی مطلق؛
- مقایسه‌های دوتایی؛
- رتبه‌بندی؛
- برآوردهای عددی غیرمستقیم.

پ-۴ اجماع نقطه نظرات خبرگان بستگی به عوامل متعددی دارد [۱۳]. در متوسط‌گیری حسابی و هندسی فرض می شود که همه خبرگان دارای اثر وزنی (اعتباری) یکسان هستند، که این فرض بعید است که همیشه صحیح باشد، بنابراین (این فرض) می‌تواند یک فرض غیر واقعی باشد زیرا تمایلات فکری شدید (تعصب) برخی خبرگان را نادیده می‌گیرد. عوامل وزنی[۴] (اعتبار دهی)، بر اساس رتبه‌بندی خبرگان یا بر اساس تعصبات آن‌ها و با واسنجی[۵] پاسخ این افراد به کمک داده‌های احتمالاتی معلوم، می‌تواند انجام گیرد. روش‌های بیزین برای بررسی تعصبات خبرگان مناسبت بیشتری دارند زیرا آن‌ها مدل‌سازی صریح وابستگی (نظرات) خبرگان را مجاز می داند. در ادامه می‌توان داشت [۱۳]:

1- Delphi
2- Nominal
3- Bayesian
4- Weighting factors
5- Calibration

$$P(X|E) = P(X|E)\ P(X)/K \qquad (پ-۱)$$

که در آن:

P(X) باور تحلیل‌گر در مورد مقدار متغیر X قبل از اعلام نظر فرد خبره به او می‌باشد؛

P(X|E) باور تحلیل‌گر در مورد مقدار متغیر X پس از اعلام نقطه نظر فرد خبره E؛

K یک ثابت طبیعی کننده[1] برای اطمینان از اینکه محدوده محصورشده توسط توزیع بعدی P(X|E) مقدار واحد داشته باشد.

این مسئله بیان می‌کند که اگر اعتقاد تحلیل‌گر در مورد مقدار متغیر،X، قبل از اعلام نظر فرد خبره برابر با P(X) و بعد از اعلام نظرات خبرگان E باشد، تحلیلگر می‌تواند نظر خود را باز بینی نماید P(X|E) . اگر تحلیلگر قبل از آگاهی از نظر خبرگان، در مورد X مطمئن نباشد، آن موقع P(X) گیج کننده و بدون مفهوم است و به این ترتیب P(X|E) به طورکامل توسط P(E|X) تعیین می‌شود که به عنوان تابع احتمالی[2] شناخته شده است. این تابع احتمالی، تحلیل‌گر را برای واسنجی و یا ایجاد اصلاحات بر اساس تعصبات مختلف ارایه شده در ارزیابی‌های احتمالاتی شخصی خبرگان و همچنین برای در نظر گرفتن وابستگی به نظرات خبرگان مجاز می‌نماید. تحلیل‌گر با تعریف تابع احتمالی سر و کار دارد.

بنابراین روش‌های بیزین دو مرحله زیر را دنبال می‌کند:

اول- خبرگان داوری خود را مستقل از فرد تحلیل‌گر انجام می‌دهند؛

دوم- تحلیل‌گر احتمال تاثیر داوری‌های یک سری معلوم از خبرگان (که برخاسته از تعصبات شناخته شده همان خبرگان است) بر دیگر خبرگان را در این فرآیند بررسی می‌کند.

این موضوع به تحلیل‌گر توانایی مطلوبی می‌دهد تا به اختلافات جزیی نظرات خبرگان واقف شود و اهمیت بیشتری به خبرگان منتخب خود دهد. برای اطلاعات بیشتر به [۱۳] و [۲۱] مراجعه کنید.

موارد زیر نمونه‌های کاربردی نظرهای خبرگان است:

- منحنی‌های خطر زلزله[3] [۱۴]؛
- منحنی‌های شکنندگی زلزله[4] [۱۵]؛
- مدل‌های هدررفت زلزله[5] [۱۶]؛
- دسترسی نداشتن به سامانه‌های مهار آتش [۲۰]؛
- احتمالات خطای انسانی [۱۷].

نظرهای خبرگان به تعدادی از موارد و مشکلات (خاص) مربوط است و بنابراین باید با احتیاط مورد استفاده قرارگیرند، هرچند، در جایی نتیجه‌گیری شده که با توجه به کمبود غیرقابل انکار مجموعه اطلاعات، نظرهای خبرگان حیاتی است [۱۸].

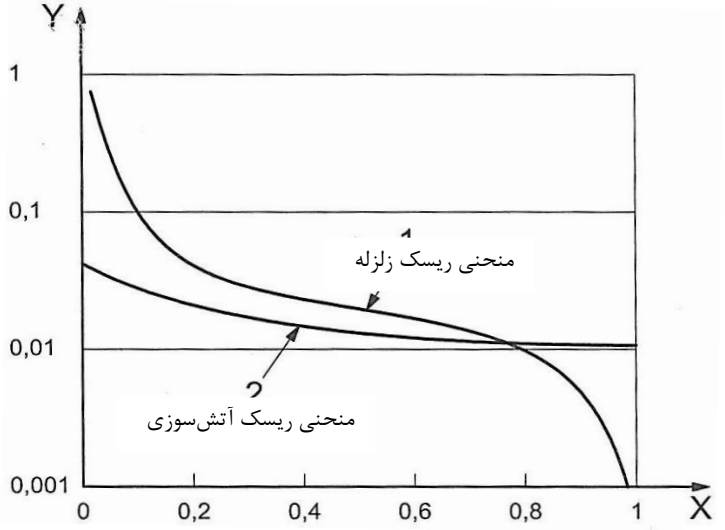
1- Normalizing constant
2- Likelihood function
3- Seismic-hazard
4- Seismic-fragility
5-Seismic-loss

پیوست ت
(اطلاعاتی)
مثال‌هایی از نمایش کمّی ریسک

ت-۱ توزیع احتمالاتی عواقب

توزیع احتمالاتی عواقب (یک حادثه)، یک نمایش کمّی از همه نمایه[1] یک ریسک است که طبق این استاندارد به صورت ترکیبی از احتمالات و پیامد، تعریف شده است. توزیع احتمالی را می‌توان توسط یک تابع توزیع انباشته[2] بیان کرد. عبارت فوق برای هنگامی که عاقبت مورد نظر یک مقدار گسسته است، می‌تواند توسط یک تابع جرم احتمالی[3]، و یا برای هنگامی که عاقبت فوق پیوسته باشد توسط یک تابع چگالی احتمالی[4] ، بیان شود.

یک تابع مکمل مکرر[5] از CDF که گاهی به عنوان یک منحنی ریسک شناخته می‌شود، برای نشان دادن احتمال وقوع عواقبی که در طول یک دوره مرجع از یک حد معینی بیشتر هستند، استفاده می‌شوند. شکل ت-۱ نمونه‌ای از منحنی‌های ریسک را برای نمایش ریسک‌های زلزله و آتش‌سوزی یک ساختمان نشان می-دهد. در شکل ت-۱، زمان پنجاه سال به عنوان طول دوره مرجع در نظرگرفته شده و عاقبت حاصله (از حادثه) فوق توسط یک ضریب خسارت که به صورت نسبتی از هزینه تعمیر به هزینه نوسازی[6] (هزینه جایگزینی) تعریف شده، نشان داده می‌شود:



راهنما: X ضریب خسارت،

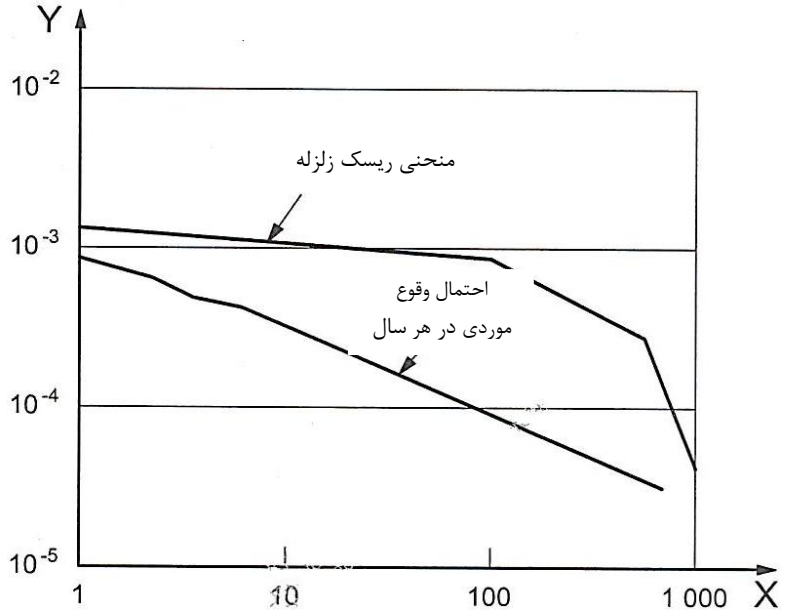
X ضریب خسارت

Y تکرارهای سالیانه (حوادث) که در یک دوره زمانی ۵۰ ساله از یک حد معینی بیشترند

شکل ت-۱ - مثالی از منحنی‌های ریسک

1- Profile
2- Cumulative distribution function - CDF
3- Probability mass function - PMF
4- Probability density function - PDF
5- Frequent complementary function
6- Repalcement cost

هنگامی که تعداد تلفات به عنوان نمایشی از عواقب (یک حادثه) درنظر گرفته شود، تابع فوق به عنوان یک منحنی F-N (تناوب و تعداد)[1] نامیده می‌شود. شکل ت-۲ مثالی از منحنی‌های F-N را برای دو فاجعه فرضی نشان می‌دهد.



راهنما:

X تعداد تلفات

Y تناوب سالانه (احتمال وقوع عواقبی) بیش از حد از قبل تعریف شده در طول یک دوره پنجاه ساله

شکل ت-۲- مثالی از یک منحنی F-N

ماتریس‌های ریسک و جداول مشابه به طورگسترده‌ای در تجزیه و تحلیل‌های ریسک نیمه‌کمّی یا نیمه‌کیفی با شرح و بسط جزیی استفاده می‌شوند. ماتریس‌های ریسک مشابه منحنی‌های F-N بر اصل یک‌سانی استوار هستند که بر اساس آن، ریسک به صورت ترکیبی از تکرر (عواقب) یا احتمالات و عواقب بیان می شوند. اما برخلاف منحنی‌های F-N، ماتریس‌های ریسک گهگاهاً از احتمالات عواقب و گروه بندی های عواقب استفاده می‌کنند. ماتریس‌های ریسک ادعایی برای نمایش صحیح از سطح میزان ریسک ندارند، اما برای بهتر مشخص‌کردن عوامل دخیل بر ریسک از خطرات مشخص شده، مفید هستند. در جلسه‌های مربوط به ریسک که با هدف منظور شناسایی و ارزشیابی خطرات برگزار می‌شوند، ماتریس‌های ریسک و جداول مشابه می-توانند ابزارهای کارآمدی باشند.

به عنوان یک مثال برای وضوح مطلب، ماتریس نشان داده شده در شکل ت-۳ داوری ارزیابان از احتمالات و عواقب سه حادثه نامطلوب UE1، UE2 وUE3 را در این تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد. با توجه به (نظر) ارزیابان، رنگ‌ها سطوح ریسک را نشان می‌دهند و می‌توانند به عنوان سطوح مورد نیاز برای کاهش ریسک تفسیر شود.

ماتریس‌های ریسک می‌توانند در تجزیه و تحلیل اولیه خطر و به عنوان اولین گام در تجزیه و تحلیل کمّی با دقت بیشتر، برای تصمیم‌گیری در مورد این که چه خطراتی نیاز به شرح و دقت بیشتری دارند، استفاده شوند. سپس ماتریس‌های ریسک می‌توانند با ارایه ترکیبی از نتایج ریسک حاصل از تجزیه و تحلیل دقیق، به

1- Frequency and number

مشتری و یا تصمیم‌گیرنده اطلاعاتی را ارایه دهند. ماتریس فوق تصویر بزرگی را ارایه می‌کند که به طور واضح به آسانی قابل درک است. مفروضات مرتبط، عوامل موثر و ابزارهای احتمالی کاهنده ریسک باید در جداول و نمودارها و یا به طور شفاهی ارایه شوند.

احتمالات	عواقب		
	جراحات سطحی	جراحات سخت	مرگ و میر
خیلی زیاد (دست کم یک بار در سال)	UE3		
زیاد (یک بار در ۲ سال تا ۹ سال)	UE2	UE3	
کم (یک بار در ۱۰ سال تا ۵۰ سال)	UE1	UE2	
خیلی کم (کمتر از یک بار در ۵۰ سال)		UE1	UE3, UE2

راهنما:

	اقدام درمان ریسک لازم نیست
	اقدامات درمان ریسک باید در نظر گرفته شود (در کمترین حد عملی قابل قبولی)
	اقدامات درمان ریسک باید انجام شود

شکل ت-۳ - مثالی از ماتریس ریسک

رنه و کلینک[1]، به دلیل ماهیت دوگانه ریسک، علاوه بر جنبه فیزیکی آن، یک بیان همه جانبه، شامل دیدگاه‌های اجتماعی و روانشناسی از ریسک را ارایه کرده‌اند[۲۳]. این نویسندگان معیارهای جدیدی برای ارایه و ارزیابی ریسک بر اساس ویژگی‌های خطرات آن معرفی کرده‌اند. آن‌ها علاوه برگسترش آسیب[2] و احتمالات رخداد[3]، معیارهایی از جمله نامعینی[4]، فراگیری[5]، دوام[6]، برگشت‌پذیری[7]، اثرات تاخیری، نقض عدالت و پتانسیل تسرّی[8] را پیشنهاد می‌دهند. این شرح جامع ریسک به منظور تجزیه و تحلیل ریسک‌های زیست محیطی جهانی توسعه داده شده‌اند. ذهن گرایان افراطی[9] برای نشان دادن ریسک هیچ‌گونه تلاشی

1- Klinke& Renn
2- Extent of damage
3- Probability of occurrence
4- Incertitude
5- Ubiquity
6- Persistency
7- Reversibility
8- Potential of mobilization
9- Extreme subjectivists

انجام نمی‌دهند. آن‌ها می‌گویند که برداشت مفهومی از ریسک از طریق بازی قدرت و مذاکره[1] انجام می‌شود. ریسک به استدلال‌ها و موقعیت‌ها بستگی داشته و در مورد ارزش‌های مورد انتظار نیست.

ت-۲ نمایش عددی قدرت و مذاکره (Negotiations)

برای راحتی مقایسه ریسک، گاهی اوقات یک ریسک به صورت عددی نشان داده می‌شود. به طور سنّتی، E(C)، انتظار عواقب، یکی از متداول‌ترین نمایش‌هایی است که استفاده می‌شود که به شرط گسسته بودن عواقب با استفاده از معادله (ت-۱) محاسبه می‌شوند و در صورتی که این عواقب پیوسته فرض شوند، با معادله (ت-۲) محاسبه می شود:

$$(C) = \sum_{i=1}^{n} c_i p_i \qquad \text{(ت-۱)}$$

که در آن:

n تعداد عواقب فرض شده؛

c_i عاقبت شماره i ام و p_i احتمال وقوع عاقبت i ام است.

زمانی که تنها یک عاقبت درنظر گرفته شود، i برابر ۱ است، پس معادله ت-۱ تبدیل به حاصل‌ضرب c در p می‌شود.

$$E(C) = \int_0^{\infty} c.f_C(c)dc \qquad \text{(ت-۲)}$$

که در آن:

c عاقبت موردنظر؛

و $f_C(c)$ تابع چگالی احتمالی آن عاقبت است.

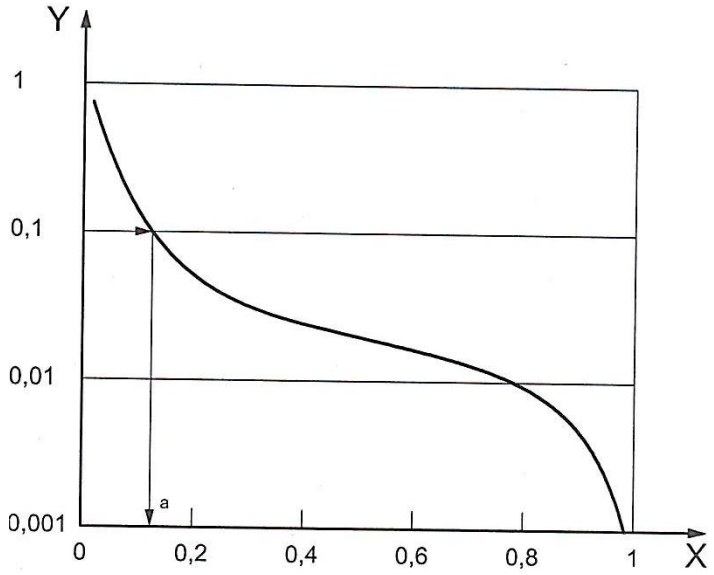
پیشنهاد می‌شود زمانی که انتظار (عاقبت) فوق از معادله‌های بالا محاسبه می‌شود، وضعیت p_i یا $F_C(c)$ تایید شود.

برخی انتظارات که در ادامه آمده‌اند به عنوان شاخص ریسک استفاده می‌شوند: آهنگ تصادفات مرگبار (FAR)، تعداد مرگ و میر مورد انتظار در هر صد میلیون نفر- ساعت فعالیت، پتانسیل از دست رفتن حیات (PLL) و تعداد مرگ و میر مورد انتظار در فعالیت موردنظر در طی یک سال. در نوع دیگری از نمایش عددی، با رعایت هدف مدیریت ریسک یکی از دو متغییرهای مستقل موجود در CDF عاقبت مورد نظر (همانند احتمال یا عاقبت) را متغیر و دیگری را ثابت در نظر می‌گیرند. زمانی که یک سطح غیرقابل‌قبولی از عواقب یک ریسک به طور آشکار تعیین شود، نمایشی با یک احتمال می‌تواند به طور موثری یک ریسک را ارزشیابی کند. این مفهوم با احتمال شکست برای در یک حالت حدی که در طراحی سازه استفاده می‌شود، مشابه است. به عبارتی، این یک مفهوم بسط یافته‌ای از شکست در یک پدیده فیزیکی مانند فروپاشی، به هر نوع از عواقب نامطلوب حاصل در یک مساله سازه‌ای است.

بر عکس، عاقبت یک حادثه با احتمال مشخص نیز برای نشان دادن یک ریسک استفاده می‌شود. این مفهوم به عنوان ارزش در معرض ریسک[2] در زمینه‌های اقتصادی و مالی شناخته شده است. برای تجزیه و تحلیل یا

1- Negotiation
2- Value at risk

طراحی سازه، از حداکثر افت احتمالی[1] PML، که یکی از معیارهای متداول است، استفاده می‌شود که به صورت نسبتی از حداکثر افت به هزینه جایگزینی (با توجه یک سطح احتمالی ٪۱۰ در یک دوره ۵۰ ساله که بیشترین استفاده را دارد)، تعریف شده است. شکل ت-۴ رابطه بین یک منحنی ریسک و یک PML منطبق با تعریف بالا را نشان می‌دهد. در این مورد PML در حدود ٪۱۳ برآورد شده است.



راهنما:

X ضریب خسارت

Y احتمالات افزایش از حد تعریف شده در طول یک دوره پنجاه سال

a PLM برابر ۰٫۱۳ است.

شکل ت-۴ - رابطه بین منحنی ریسک و PML

1- Probable Maximum Loss - PML

پیوست ث
(اطلاعاتی)
معادلاتی برای برآورد ریسک

ث-۱ دستورسازی[1] کلی

به عنوان یک بیان خیلی جامع از برآورد ریسک در یک دوره زمانی (T) (برای مثال، یک سال و یا طول عمر)، یک منحنی ریسک [P(C > c)] که تابع توزیع تجمعی مکمل از عاقبت (ریسک) (C) است (پیوست ت را ببینید)، با معادله ث-۱ بیان می‌شود:

$$P(C > c) = P\left(\sum_{i=1}^{N_S} C(S_i)\left\{1 - exp\left[-\sum_{k=1}^{N_H}\int_T v_k P(S_i|H_k)dT\right]\right\} > c\right) \quad \text{(ث-۱)}$$

که در آن:

K عدد اطلاق شده به خطری واحد که سازه موردنظر درمعرض آن قرار دارد، که K =1 تا N_H؛

N_H تعداد کل خطرات موردنظر است؛

i عدد اطلاق شده به یک طرح راهنمای واحدی، که i = 1 تا N_S؛

N_S تعداد کل طرح راهنماهای مختلف که منجر به حالت‌های حدی با عواقب مربوطه $C(S_i)$ می‌شوند؛

V_k آهنگ وقوع خطر k ام؛

$P(S_i|H_K)$ احتمال شرطی طرح راهنمای i ام برای خطر k ام است.

انتظار پیامد یا همان (R) که عمدتاً برای نمایش ریسک استفاده می‌شود (به پیوست ت مراجعه کنید)، توسط معادله زیر بیان می شود (ث-۲):

$$R=E_R(C)= E_R\left(\sum_{i=1}^{N_S} c(S_i)\left\{1 - exp\left[-\sum_{k=1}^{N_H}\int_T v_k P(S_i|H_k)dT\right]\right\}\right) \quad \text{(ث-۲)}$$

که در آن:

E_R انتظار از همه متغیرهای مستقل به زمان[2] مانند مقاومت، هم‌وزنی و مانند این‌ها است.

یادآوری۱- خطرات H_k، برای مقادیر مختلف k، می‌تواند از انواع مختلف باشد، از جمله زلزله و آتش‌سوزی که یک نوع هستند ولی با منشاهای مختلف، به عنوان مثال زلزله‌های مناطق مختلف.

یادآوری۲- $P(S_k|H_k)$ و $C(S_k)$ می‌توانند به زمان وابسته باشند.

یادآوری۳- برای ارزشیابی احتمالات در حالت حد مجاز $P(S_i|H_k)$، معمولاً به مدل‌های عملی[3]، مدل‌های مقاومتی و تجزیه و تحلیل پاسخ‌های سازه ای و غیرسازه ای معمولاً احتیاج می‌باشند.

اگر توان همواره در مقایسه با عدد یک کوچک باشد و تعداد تکررها مستقل از زمان باشند، معادله (ث-۲) را می‌توان به صورت معادله (ث-۳) ساده کرد:

$$R=E_R\left[\sum_{i=1}^{N_S}\sum_{k=1}^{N_H}(v_k T)P(S_i|H_k)C(S_i)\right] \quad \text{(ث-۳)}$$

1-Formulation
2- Non-time-invariant
3- Action models

ث-۲ دستور سازی براساس منحنی‌های خطر و منحنی‌های شکنندگی

ث-۲-۱ دستورسازی

وقتی که تنها یک خطر درنظر گرفته می‌شود و وقوع آن خطر با شدت معینی به صورت یک روش احتمالاتی بیان می‌شود، معادله (ث-۳) را می‌توان به عنوان معادله (ث-۴) بازنویسی کرد:

$$R = E_R\left\{\sum_i C(S_i)\int_\gamma \left[-\frac{dP_0(\gamma)}{d\gamma}\right] P(S_i|\Gamma=\gamma)\,d\gamma\right\} \qquad \text{(ث-۴)}$$

که در آن:

$P(S_i|\Gamma=\gamma)$ احتمال شرطی است که حالت خسارت واقعی (S_i) به شدت باری (Γ) برابر با γ (منحنی شکنندگی) برسد؛

$P_0(\gamma)$ احتمال افزایش شدت بار(γ) حداقل یک بار در طول فاصله زمانی (T) (منحنی خطر) بیش از حد مجازی افزایش یابد.

یادآوری۱- متغیر γ همچنین می‌تواند یک بردار نیز باشد.

یادآوری۲- اگر لازم باشد که ترکیبی از انواع مختلف خطرها وجود داشته باشد، دستورسازی بر اساس منحنی‌های خطر و منحنی‌های شکنندگی زیاد مناسب نیست.

ث-۲-۲ مثال‌هایی از برآورد ریسک زلزله

ث-۲-۲-۱ منحنی خطر زلزله

در تجزیه و تحلیل متعارف خطر زلزله، فرض شده که زلزله‌ها به طور تصادفی و از نظر آماری به طور مستقل رخ می‌دهند. بنابراین، احتمال این که شدت تصادفی (Γ) دریک موقعیت مکانی خاص بیش از یک مقدار خاص (γ) شود می‌تواند به صورت معادله (ث-۵) بیان شود:

$$P_0(\gamma) = 1 - exp\left[-\sum_{k=1}^{n}\int_T v_k\, q_k(\gamma)dT\right] \cong \sum_{k=1}^{n} v_k\, T_{qk}(\gamma) \qquad \text{(ث-۵)}$$

که در آن:

n تعداد مناطق بالقوه زلزله‌خیز در اطراف آن مکان و v_k آهنگ وقوع زلزله‌هایی با مقادیر حدود بالا و پایین ترتیب m_{uk} و M_{lk} طبق مرجع k است.

$q_k(\gamma)$ احتمال این‌که $\Gamma > \gamma$ با توجه حادثه زلزله طبق مرجع k است و به وسیله معادله (ث-۶) محاسبه می‌شود:

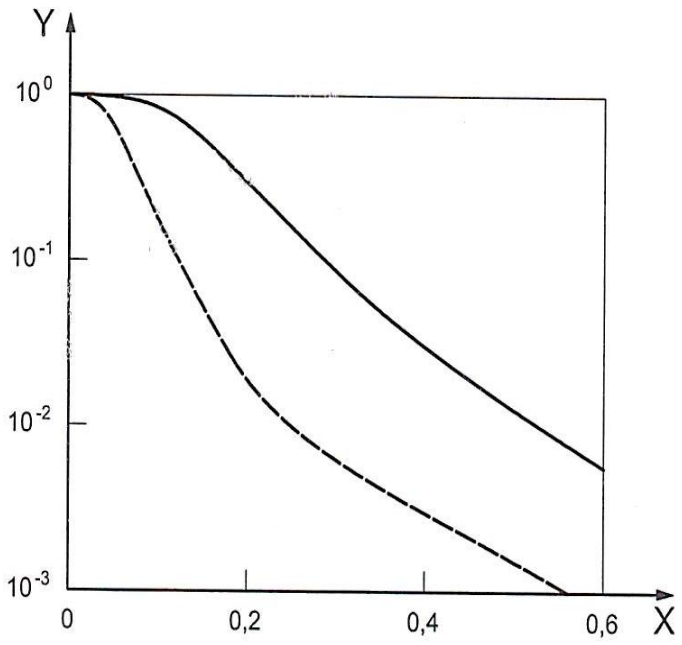
$$q_k(\gamma) = \int_{m_{lk}}^{m_{uk}}\int_{r_{lk}}^{r_{uk}} P(\Gamma > \gamma|m,r) f_{Mk}(m) f_{Rk}(r)\,dmdr \qquad \text{(ث-۶)}$$

که در آن:

$f_{Mk}(m)$ تابع چگالی احتمال از مقدار(M) از زلزله رخ داده طبق مرجع k؛

$f_{Rk}(r)$ تابع چگالی احتمال فاصله (R) که به ترتیب دارای مقادیر بالا و پایین r_{uk}، و r_{lk} در موقعیت مکانی مورد نظر با گسیختگی طبق مرجع k؛
و $P(\Gamma \geq \gamma | m, r)$ احتمال $\Gamma>\gamma$ وقتی M = m و R = r است.

زمانی که نا معلومی[1] یک مدل مورد نظر باشد، ممکن است یک بسط از معادله (ث-۴) لازم باشد.
منحنی خطر زلزله[2] از معادله (ث-۳) برای مقادیر مختلف γ به دست می‌آید. شکل ث-۱ نمونه‌ای از یک منحنی خطر زلزله را نشان می‌دهد.



راهنما:

X حد اکثر سرعت که به متر بر ثانیه بیان می شود.

Y احتمال سالانه افزایش (از حد مجاز) رویداد P0

____ شهر الف

- - --- شهر ب

شکل ث-۱- مثالی از منحنی خطر زلزله

ث-۲-۲-۲ منحنی شکنندگی

منحنی شکنندگی احتمال این که خسارت واقعی به یک ساختمان (D) از مقدار یک آسیب معیار (d_i) تجاوز کند، در زمانی که سازه در معرض شدت بار مشخص (γ) قرار دارد را بیان می‌کند.

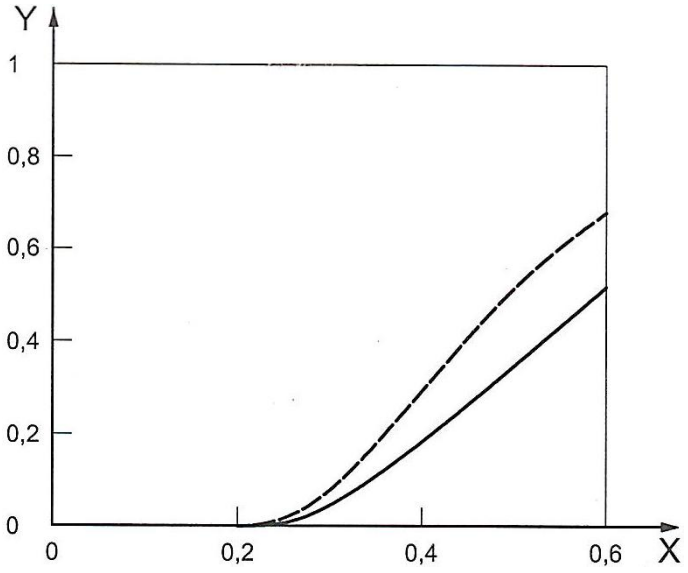
$$P(S_i|\Gamma=\gamma) = P(D \geq d_i|\Gamma=\gamma) = P\left(\frac{S_d}{S_c}\right) \geq 1.0 \qquad \text{(ث-۷)}$$

1- Uncertainty
2- Seismic hazard curve

که در آن:

S_c ظرفیت سازه، به عنوان مثال نسبت رانش بین طبقاتی[1] در یک آستانه فروپاشی و S_d نیاز سازه مورد نظر است.

منحنی‌های شکنندگی می‌تواند به صورت تجربی و یا توسط تجزیه و تحلیل نظری به دست آیند. شکل ث-۲ مثالی از یک منحنی شکنندگی برای زلزله است که در آن γ نشان دهنده سرعت اوج نا معلومی[2] است.



راهنما:

X حداکثر سرعت بر حسب متر بر ثانیه

Y احتمال شرطی

_____ حالت خسارت: فروپاشی

- - - - - حالت خسارت: شدید

شکل ث-۲- مثالی از منحنی شکنندگی

1- Inter-story drift ratioty
2- Ground peak velocity

پیوست ج
(اطلاعاتی)
دستورالعمل برای برآورد عواقب

ج-۱ کلیات

ج-۱-۱ برآورد عواقب نشان‌دهنده یک دستورالعمل سامانه‌ای برای شناسایی و برآورد خروجی‌های یک تصمیم مربوط به رویدادهای مطلوب یا نامطلوب است. عواقب می‌توانند دارای گستره ارزش‌های مثبت تا منفی باشند. برای یک رویداد واحد بیش از یک عاقبت می تواند وجود داشته باشد. به‌علاوه برخی از این عواقب می‌توانند بلافاصله پس از رویداد و برخی پس از سپری شدن یک زمان خاص رخ دهند. به طورکلی سه نوع از عواقب شناسایی شده‌اند:

- مرگ و میر و جراحات؛
- اثرات زیست محیطی[1]؛
- نتایج اقتصادی.

کمیت سنجی بعضی عواقب مانند آسیب‌های سیاسی و اجتماعی و از دست دادن بخش‌های منحصر به فرد در ارتباط با میراث گذشتگان، مشکل یا حتی غیرممکن است.

برای دستورالعمل جامع ارزیابی ریسک برای سامانه‌های مهندسی پیچیده، برآورد عواقب اغلب یک مرحله کلیدی و حتی مهم‌ترین مرحله است. برای تعیین میزان صدمات و مرگ و میر انسان‌ها و اثرات زیست محیطی و عواقبی اقتصادی عبارات کلامی (کیفی،توصیفی) و یا عددی (کمّی) را می‌توان استفاده کرد.

عواقب به طورکلی کمیت‌های چند بعدی هستند. با این حال، در یک مورد خاص، می‌توان آن‌ها را به صورت ساده توسط یک شاخص واحد، مثلاً به شکل واحد پولی بیان کرد. سپس عواقب این حوادث (E_{ij}) می‌توانند با اجزا هزینه‌ها (C_{ijk}) که درآن اندیس ij بیان‌گر رویداد j از طرح راهنمای i است، تعریف شوند. زیرنویس k بیان‌گر مولفه‌های مجزا همراه با تعداد زندگی‌های از دست رفته، وسعت جراحات انسانی، اثرات زیست محیطی و نتایج اقتصادی آن‌ها است که توسط یک واحد پول رایج بیان می‌شود.

ج-۱-۲ هنگام برآورد عواقبی ناشی ازحوادث مطلوب یا نامطلوب توصیه‌های زیر باید درنظرگرفته شوند:

ج-۱-۲-۱ تمامی عواقب باید به طرح راهنماهای خطر که به خوبی تعریف شده‌اند و حوادث مرتبط مربوط باشند؛

ج-۱-۲-۲ دنباله‌های ممکن از عواقب حاصله از یک حادثه باید به حساب آورده شوند؛

ج-۱-۲-۳ اقدامات کاهنده به‌کار رفته برای کاهش یا از بین بردن عواقب نامطلوب باید به حساب آورده شوند؛

ج-۱-۲-۴ هر دو عواقب فوری و تاخیری باید در نظرگرفته شوند.

ج-۱-۳ سه روش اختیاری ممکن است برای برآورد عواقب به‌کار گرفته شوند:

- برآورد از تجربه از دست دادن؛

1- Ecological

- برآورد با استفاده ازمدل‌ها؛

- برآورد بر مبنای داوری مهندسی.

در موارد مربوط، گزینه‌های ذکرشده در بالا ممکن است به طورهم‌زمان استفاده شوند.

ج-۲ برآورد عاقبت از تجربه از دست دادن[1]

برآورد عواقب ناشی از تجربه از دست دادن، بر دانش قبلی ارایه شده توسط حوادث مشاهده شده از ساختمان-های مربوط و یا سامانه‌های مهندسی استوار است. تجربه از دست دادن که در برآورد عواقب استفاده می‌شود، می‌تواند در موارد زیر به کار رود:

ج-۲-۱ سازه خاص موجود و سامانه مهندسی مربوط به آن که مورد مطالعه قرار گرفته، به عنوان مثال در مورد اصلاح و نوسازی یک سامانه موجود؛

ج-۲-۲ همه سامانه‌های عمومی با موقعیت عمومی یا ملکی، به عنوان مثال در مورد برآورد ریسک آتش-سوزی برای ساختمان‌های اداری مشابه؛

ج-۲-۳ تمام سامانه‌های عمومی تا سطح ملی یا سطح بین المللی، به عنوان مثال در مورد برآورد ریسک برای پل‌ها یا نیروگاه‌های برق.

در هر یک از موارد بررسی شده، سطح اطلاعات در دسترس و مرتبط بودن‌شان، قابلیت دسترسی به آن‌ها و مقدار آن‌ها باید نقد و سنجیده شوند.

ج-۳ برآورد عواقب با استفاده ازمدل‌ها

استفاده از مدل‌های مناسب در برآورد عواقب، یک مزیت مهم دارد. این یک بینش روشن نسبت به سامانه در حال بررسی را فراهم کرده و همچنین از ارتباطات متقابل بین واحدهای سامانه و محرک‌های مربوط به اقدامات موثر درمانی که برای کاهش یا از بین بردن عواقب نامطلوب استفاده می‌شوند، درک بهتر ایجاد می-کند. برای مثال، یک مدل برای تخلیه یک ساختمان یا یک تونل در صورت آتش‌سوزی، می‌تواند تمهیدات مناسب حمایتی واضحی و تعداد مناسبی از مسیرهای فرار را فراهم کند.

با این حال، استفاده از مدل‌ها نیاز به داده‌های تجربی و شخصی[2] را نمی‌تواند به طورکامل حذف کند. در مورد مدل‌ها، هنگامی که چنین نیازی به یک متغیر خاص‌تری منتقل شود، برآورد عواقب می‌تواند آسان‌تر باشد. بنابراین، این مدل شامل تقابلی بین مزایای این مدل پیچیده (از نظر درک بهتر از سامانه) و عدم قطعیت در مورد داده‌های مورد نیاز این مدل (در مقایسه با عدم قطعیت داده‌هایی که مستقیماً استفاده می‌شوند) است.

ج-۴ برآورد عواقب بر اساس داوری مهندسی

برآورد عواقب بر اساس داوری مهندسی می‌تواند منجر به برآورد در یک نقطه و یا ترجیحاً در یک گستره‌ای شود. مورد دوم (برآورد یک گستره) برای استفاده در یک ماتریس ریسک یا دیگر دستورالعمل ارزیابی کیفی معمولاً کافی است. در این مورد که در آن اطلاعات مربوطه تقریباً و یا کاملاً موجود نیست، یک ماتریس ریسک می‌تواند استفاده شود. سپس برآورد عواقب بر روی مقادیر کوچکی متمرکز شده‌اند. این کار می‌تواند

1- Consequence estimation from loss experience
2- Subjective
3- Order

برای جدا کردن مقادیر متوالی با توجه به درجات بزرگی از یک یا دو مقدار[1] و برای مشخص کردن کمترین، میانه و بالاترین مقادیر با یک معنی خاص مانند مرگ و میر، آسیب‌های زیست محیطی و ضررهای اقتصادی مفید باشد.

با استفاده از روش دلفی یا دستورالعمل‌های دیگر برای کاهش نگرش یک سویه[2] و بهبود کیفیت برآوردهای فوق، داوری مهندسی می‌تواند به صورت منظم و هماهنگ تری انجام شود. این روش‌ها شامل یک سری سوال و جواب‌های مکرر که معمولاً بر اساس پرسش‌نامه‌های حاصله از عده ای از خبرگان که عقاید و داوری‌هایشان با موضوع مورد نظر مرتبط است، می‌باشد. پس از سوال و جواب های اولیه از هر فرد، پرسش‌های بعدی با اطلاعات مربوط به پاسخ های قبلی که معمولاً به صورت ناشناس داده شده اند، انجام می‌شود. بنابراین، فرد تشویق به تجدیدنظر و در صورت لزوم، به تغییر پاسخ‌های قبلی خود با توجه به پاسخ های دیگر اعضای گروه می‌شود. پس از دو یا سه دوره سوال و جواب، موقعیت گروه با متوسط‌گیری تعیین می‌شود.

1- Bias

پیوست چ
(اطلاعاتی)
مثال‌هایی از اقدامات برای ترمیم ریسک

چ-۱ مقدمه

چهار رویکرد برای ترمیم ریسک وجود دارد:

- اجتناب: با انجام ندادن و یا قطع فعالیت‌هایی که می‌تواند منجر به ریسک شود می توان از ریسک (همین طور از وقوع خطر) اجتناب کرد. به این منظور لازم است خطرات خاصی شناسایی شوند.

چ-۱-۱ کاهش، عبارتند از فعالیت‌هایی که به منظور کاهش احتمال وقوع خطر و یا عواقب آن در صورت رخدادش انجام می‌شود. اگر آن ریسک ذاتاً وابسته به یک فرآیند خاصی مرتبط با کاربری آن ریسک باشد، فعالیت‌های کاهش دهنده احتمالی خطر، ریسک فوق را از بین نمی‌برد.

چ-۱-۲ انتقال، فعالیت‌هایی جهت انتقال برخی از ریسک‌ها به دیگر طرف‌های درگیر است. از طریق بیمه یا پیداکردن شریک برای به اشتراک گذاشتن مسئولیت ریسک می‌توان این فرآیند را انجام داد.

چ-۱-۳ نگه‌داشتن، فعالیت هایی است که با پذیرش ریسک و آمادگی برای مقابله با عواقب آن در صورت رخداد آن خطر خاص صورت می‌پذیرد.

این روش‌ها به طور متقابل منحصر به فرد نیستند و در اکثر موارد، ترکیب آن‌ها می‌تواند کارآمدترین راه‌حل را ارایه کند. مثال‌هایی که این روش‌ها را شرح می‌دهند در بندهای چ-۲ تا چ-۵ آمده است. بسیار مهم است که اقدام‌های ترمیم ریسک سازه، به عنوان بخشی از ارزیابی اولیه ریسک در مراحل برنامه‌ریزی، طراحی و راه‌اندازی اولیه معرفی شوند. هنگامی که سازه فوق بهره‌برداری شده باشد، بسیاری از اقدام‌های مهندسی عملی و یا اقدامات ترمیم ریسک سازه‌ای می‌توانند غیرممکن و یا پرهزینه باشند؛ اما باید تایید کرد که اقدامات انجام شده برای مقابله با ریسک‌های خاصی نباید سهواً دیگر ریسک‌ها را افزایش دهد.

چ-۲ اجتناب از ریسک

اقدام‌های مربوط به این روش می‌تواند شامل تغییراتی در مکان سازه و یا دسترسی به آن (به عنوان مثال، نساختن در نزدیکی گسل فعال و یا تحمیل حداقل فاصله با آن با قرار دادن موانع و یا دستگاه‌های مشابه دیگر) یا با جلوگیری از استفاده و یا ذخیره‌سازی مواد خطرناک در داخل و یا در نزدیکی سازه فوق (به عنوان مثال استفاده نکردن از گاز طبیعی) باشد. اگرچه چنین اقداماتی اغلب ساده‌ترین روش‌ها هستند و معمولاً نیاز به خدمات خاصی از مهندسان سازه ندارند، ولی مهم است که اشاره شود که اجتناب از ریسک مانع از اجرایی شدن مزایای مرتبط با آن می‌شود.

چ-۳ کاهش ریسک

چ-۳-۱ اقدام‌های مرتبط با این روش به دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند: اول آن‌هایی که دارای هدف کاهش احتمال خطر می‌باشند و دوم آن‌هایی که می‌توانند عواقب حاصل از رخداد خطر را کاهش دهند. اقدام‌های انجام شده از دسته اول ممکن است شامل موارد زیر باشد:

- آموزش کارکنان؛
- مرور الزامات و مشخصات ویژه طراحی سازه؛
- کنترل کیفیت در مراحل طراحی و ساخت و ساز؛
- بازرسی منظم از سازه در طول عمر کاری آن؛
- کنترل فرآیندهای مرتبط با کاربری سازه؛
- تعمیر و نگه‌داری پیش‌گیرانه (به عنوان مثال تعمیر و تعویض قطعات آسیب دیده)؛
- تقویت و مقاوم‌سازی سازه‌های موجود؛
- اقدامات حفاظتی سازه‌ای (به عنوان مثال حفاظت از ستون‌ها)؛
- اقدامات حفاظتی غیرسازه ای (به عنوان مثال نصب یک سامانه آب‌پاش آتش)؛
- روش‌های بهبود دهنده حاصل از تحقیق و توسعه برای طراحی سازه، ساخت و ساز و تعمیر و نگه‌داری.

چ-۳-۲ اقدام‌های دسته دوم شامل موارد زیر است:

- ارایه و تعیین مسیرهای تخلیه؛
- آموزش ساکنان ساختمان که چگونگی در شرایط اضطراری رفتار نمایند؛
- برنامه‌ریزی جهت پاسخ دهی؛
- محدودکردن خطر (به عنوان مثال جلوگیری از گسترش آتش با قسمت بندی کردن ساختمان)؛
- محدود کردن میزان شکست[1] (به عنوان مثال توسط اقداماتی مرتبط با مستحکم سازی).

چ-۳-۳ برای برنامه‌ریزی جهت پاسخ دهی، محدوده زمان در دسترس یک مسئله حیاتی است. در برخی موارد، زمان کافی برای پاسخ‌گویی دقیق وجود دارد. با این حال، موقعیت‌هایی نیز وجود دارند که نیاز به پاسخ دهی سریعی دارند [۲۹]:

- شروع سریع ریسک مورد نظر؛
- زمان کوتاه برای هشدار یا آماده‌سازی؛
- سطح بالای خطر؛
- وقتی که کسانی که به ریسک پاسخ می‌دهند نیز تحت اثرتاثیر ریسک قراردارند؛
- سطح بالای آسیب، از جمله تعداد تلفات یا خسارات مالی؛
- طیف گسترده افراد درگیر در پاسخ‌گویی به ریسک؛

1- Failure

- مرحله گسترش ریسک؛
- ریسک بزرگ که شامل خسارت های حیاتی عمده باشد؛
- انتظار بالا از تصمیم‌گیرندگان؛
- منابع محدود در مقایسه با ابعاد خطر؛
- عدم آگاهی از وضعیت؛
- زمان شروع، به عنوان مثال در شب و یا در طی یک دوره تعطیلات می‌تواند بدتر باشد؛
- یک مکان دوردست و یا غیرقابل دسترس.

چ-۳-۴ در مورد شرایط اضطراری، برنامه‌ریزی صرف کافی نبوده، بلکه لازم است برنامه‌ریزی فوق با وضعیت مورد نظر تطابق داشته باشد. این پاسخ‌گویی فوریت بیشتری داشته و طی سه مرحله زیر صورت می‌گیرد:
- مرحله پاسخ‌گویی (ارزشیابی و موارد مد نظر[۱])؛
- مرحله تصمیم‌گیری (برنامه‌ریزی احتمالی[۲])؛
- مرحله بهبود (بازگشت به شرایط معمولی[۳]).

مرحله پاسخ‌گویی مرحله اولیه است که در آن لازم است گروه (ارزیابی) با توجه به ارزیابی اندازه مساله و بررسی امکان مهار و یا محدودکردن گستره اضطرار، قادر به ارزشیابی ریسک باشند. به محض انجام این مرحله، مرحله بعدی اجرای طرح احتمالی با آوردن خدماتی چون: مهار آتش‌نشانی، پلیس، آمبولانس و خدمات نجات به محل است. در نهایت، مرحله بازیابی[۴] است. مرحله نهایی بسته به نوع و وسعت حادثه‌ای که رخداده، می‌تواند طولانی باشد.

چ-۴ انتقال ریسک

اقدام‌های مرتبط با این فرآیند، شامل کاهش ریسک از طریق ترمیم‌های مالی با معاملات مالی واقعی از جمله خرید بیمه یا ابزارهای مالی مشتق شده[۵] است. ذی‌نفعان مسئول در قبال ریسک، در مقابل احتمال کاهش ریسک، هزینه های بیمه را می پردازند. اگر یک رویداد منجر به خسارت رخ ندهد، این پرداخت های (هزینه های) بیمه بیش از یک خرج[۶] نیست، اما اگر این رویداد (منجر به خسارت) رخ دهد، خسارت مطابق با شرایط پرداخت (بیمه)کاهش می‌یابد.

دو اقدام شناخته شده به عنوان انتقال ریسک وجود دارد. یکی بیمه و دیگری مشتقات مالی است. در مورد ریسک زلزله، یک ایمن‌سازی[۷] به نام اوراق قرضه فاجعه[۸] وجود دارد که از این به بعد با CAT شناخته می‌شود.

1- Containment
2- Contingency
3- Restoration of normality
4- Recovery
5- Derivative financial instruments
6- Expense
7- Securitization
8- Catastrophe bond

همیشه از نظر شرایط بازار تجدید بیمه[1]، بیمه زلزله به طور موثر به‌کار گرفته نمی‌شود. از این‌رو برای انتقال ریسک، تمرکز بر گزینه دیگر یعنی اوراق قرضه یا CAT (به نام انتقال ریسک جای‌گزین (ART)[2]) صورت می‌گیرد.

برای ایجاد یک طرح انتقال ریسک کارآمد، یک اوراق CAT که بتواند شامل بیمه زلزله باشد به نهادهای مدیریت ریسک کمک می‌کند. از سوی دیگر، این اوراق شامل ریسک‌های اضافی است که بیمه پوشش نمی-دهد و توسط ریسک پایه به‌نحوی که در اوراق CAT شامل شده‌اند، دسته‌بندی می‌شوند. ریسک پایه را به صورت تفاوت بین مبلغ پرداخت شده برای اوراق CAT و خسارت واقعی از دست رفته که نهادهای مدیریتی ریسک باید آن‌ها را جبران کنند، می‌توان تعریف کرد. ریسک پایه قابل‌کنترل است، که نادیده‌گرفتن آن می-تواند نتیجه نامطلوب داشته، به طوری که میزان جبران حاصله (از بیمه) قادر به پوشش خسارت واقعی یا افزایش هزینه انتقال ریسک نمی‌باشد.

در همین حال، در مواردی که ذی‌نفعان همکارانی را از بیرون دعوت به همکاری کرده و اعضای جدیدی را برای پذیرش ریسک پایه می‌پذیرند، ریسک قبلی می‌تواند کاهش یابد. این یک مثال از انتقال ریسک است.

ج-۵ ابقا ریسک

ابقا ریسک شامل پذیرش عواقبی است که وقتی یک رویداد منجر به خسارت، رخ دهد. لازم است برای مقابله با عواقب ناشی از ریسک، طرح‌هایی از جمله شناسایی منابع ممکن برای جبران خسارت‌ها آماده شوند. تمام ریسک‌هایی که از آن‌ها اجتناب نشود و یا انتقال داده نشود به صورت پیش فرض باقی می‌مانند. برای ریسک‌های کوچک که در طول زمان، هزینه‌های بیمه در مقابل این ریسک‌ها از کل خسارت‌های بالقوه می-توانند بیشتر باشند، ابقا ریسک یک گزینه ممکن است. این کار می‌تواند توسط تجزیه و تحلیل نسبت هزینه به سود ارزیابی شود؛ همچنین شامل ریسک‌هایی است که آن‌قدر بزرگ و فاجعه‌آور هستند که یا نمی‌توان آن را بیمه نمود و یا به‌طور نامتناسبی مقرری بیمه پرداختی آن‌ها گران می‌شود. به‌عنوان مثال جنگ، که بیشتر اموال و ریسک‌ها در مورد آن بیمه نمی‌شوند. هر مقدار خسارت بالقوه (یا عواقبی) بیش از مبلغ بیمه شده به عنوان بخشی از ریسک است.

1- Reinsurance market conditions
2- Alternative risk transfer

پیوست ح
(اطلاعاتی)
مثال‌هایی از کاربرد پذیرش ریسک و بهینه‌سازی

ح-۱ سیاست‌گذاری اختیاری برای ارتقا زلزله‌ای خانه‌های چوبی تایید نشده موجود در ژاپن

امروزه، حدود ۱۱ میلیون خانه چوبی تایید نشده در ژاپن وجود دارد و ارتقا مقاومت این خانه‌ها در برابر زلزله برای کاهش بلایای طبیعی ضروری است. هرچند ارتقا همه این خانه‌ها به سطح لازم از طراحی امروزی مطلوب است، ولی این ارتقا به دلیل هزینه‌های بسیار زیاد، عملی به نظر نمی‌رسد. برای ارتقا ۵۷۰۰۰۰ خانه چوبی تایید نشده موجود در استان آیچی[1]، حدود یک تریلیون ین هزینه باید شود که بیش از یک سوم از بودجه سالانه مورد نیاز است. علاوه بر این، خانه‌هایی با عملکرد سازه‌ای بسیار ضعیف به دلیل هزینه‌های بسیار بالا دست نخورده باقی خواهد ماند، اگر چه این خانه‌ها از نظر حفظ سلامتی انسان ها باید با اولویت ارتقا یابند. به عنوان بخشی از مدیریت ریسک زلزله، سطح هدف موثر برای ارتقا خانه‌های چوبی تایید نشده موجود در استان آیچی باید هم از نظر اقتصادی و هم از نظر مرگ و میر بررسی شود.

یادآوری۱- به مرجع [۳۱] مراجعه کنید.

یادآوری۲- نرخ خرید و فروش ارز به شرح زیر است:

- یک دلار امریکا برابر (۹۵ تا ۱۰۰) ین
- یک یورو برابر (۱۲۵ تا ۱۳۵) ین

ح-۲ تعریف سامانه

ح-۲-۱ شناسایی سامانه دربردارنده سازه‌ها

سامانه متشکل از همه خانه‌های چوبی موجود در استان آیچی و مردمی که در این خانه‌ها زندگی می‌کنند، است.

سطح عملکرد سازه‌ای یک خانه چوبی موجود اغلب با شاخص تشخیص زلزله[2]، درجه زلزله (I_G) که مقدار ۱٫۰ برای آن به طور نظری برای ارضای آئین‌نامه موجود در نظرگرفته شده است. همان طورکه در جدول ح-۱ نشان داده شده، با بررسی آئین‌نامه طراحی زلزله‌ای در ژاپن در سال ۱۹۷۱میلادی و ۱۹۸۱میلادی، خانه‌های چوبی با توجه به دوره ساخت شان به سه گروه طبقه‌بندی شده‌اند. فرض شده که سطح عملکرد زلزله‌ای خانه‌ها به صورت لگاریتمی- نرمال با پارامترهایی مطابق جدول ح-۱ توزیع شده است [اتحادیه تجاری خانه-های چوبی بهینه‌سازی شده ژاپنی (۲۰۰۵میلادی)]. به عنوان بخشی از فعالیت‌های اقتصادی، برخی از این خانه‌های قدیمی باید در طی ۳۰ سال آینده تخریب و بازسازی شوند. به خاطر سادگی، فرض شده که ٪۱۷ از خانه‌های چوبی تایید نشده به صورت تصادفی انتخاب، تخریب و بلافاصله بدون اتلاف زمان (در زمان صفر) بازسازی شده تا به یکی از خانه‌های دوره زمانی III تبدیل شوند.

1- Aichi Prefecture
2- Index of seismic diagnosis

جدول ح-۱- مدل احتمالاتی درجه زلزه‌ای برای خانه‌های چوبی موجود

	دوره زمانی	میانگین درجه لرزه	ضریب پراکندگی
۱	قبل از سال ۱۹۷۰ میلادی	۰٫۶۱	۰٫۲۹
۲	از سال ۱۹۷۰ میلادی تا ۱۹۸۱ میلادی	۰٫۷۴	۰٫۳۶
۳	از سال ۱۹۸۲ میلادی تاکنون	۱٫۳۱	۰٫۲۴

ح-۲-۲ شناسایی عواقب

تنها خسارت مستقیم در اثر شکست سازه، از جمله مرگ و میر به علت فروریزی آوار، هزینه تعمیر و یا بازسازی، هزینه تخریب قبل از بازسازی و هزینه اسکان موقتی درنظر گرفته می‌شود.

ح-۳ ارزیابی ریسک

ح-۳-۱ منحنی خطر

دراین‌جا از نقشه خطر زلزله‌ای ژاپن که به تازگی توسط ستاد توسعه تحقیقات زلزله در شبکه‌ای در ابعاد یک کیلومتر در سال ۲۰۰۵ میلادی نقشه برداری شده، استفاده می‌شود.

یادآوری- پیوست ث را ببینید.

ح-۳-۲ منحنی شکنندگی برای سطح آسیب[1]

همان طوری که در شکل ح-۱ نشان داده شده سطح آسیب با شاخص آسیب، به‌طور کمّی سنجیده می‌شود. فرض شده که شاخص آسیب (w) یک سازه چوبی با $I_G = x$ که در معرض یک حرکت زمین با حداکثر سرعت v بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه قرار گرفته و توسط توزیع وی بال[2] به شکل معادله (ح-۱) تخمین زده می‌شود:

$$w = g_1(x, v) \equiv 1 - exp\left[-\left(\frac{v}{241x^{1.2}}\right)^{1.16}\right] \qquad \text{(ح-۱)}$$

که در آن:

x متغیر تصادفی و g_1 توزیع وی بال است.

یادآوری- پیوست ث را ببینید.

ح-۳-۳ تابع خسارت اقتصادی

با فرض این که هزینه بازسازی یک خانه yen/m^2 ۱۲۰۰۰۰ باشد، خسارت اقتصادی برای هر مترمربع هزاران ین (z) باشد،که برای یک خانه با شاخص آسیب (w) ،$0 \le w<0.7$ با توجه به معادله (ح-۲) محاسبه شده است:

$$w = g_2(z) \equiv 10 * exp\left(\frac{w-0.384}{0.127}\right) - 0.058 \qquad \text{(ح-۲)}$$

1- Damage
2- Weibull

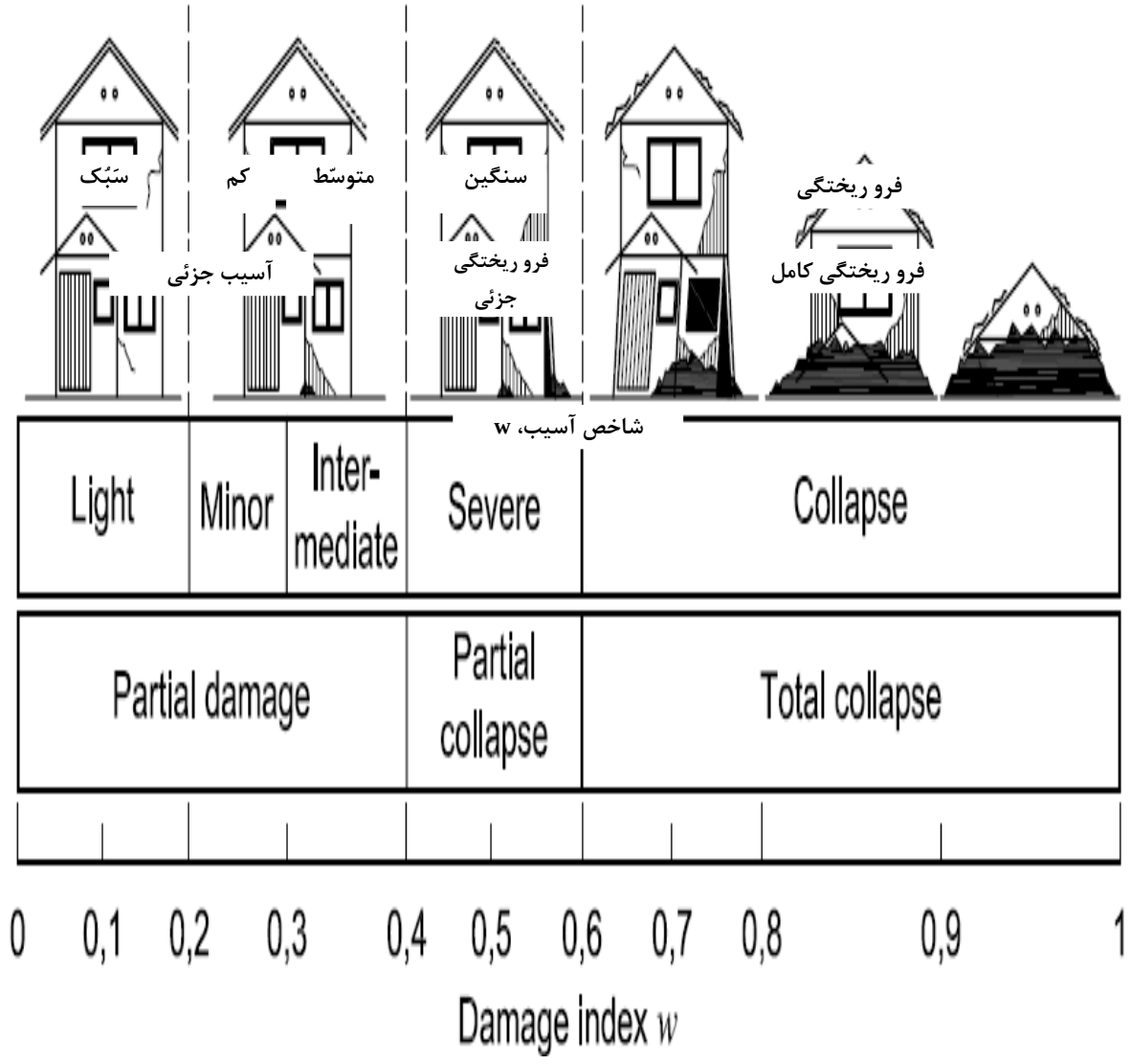
که در آن:

w شاخص آسیب، g_2 تابع و z خسارت اقتصادی است.

.....

برای مقدار w بین ۰/۷ تا ۱، مقدار عبارت فوق در مقدار ۱۲۰ ثابت است.

همچنین فرض شده که برای تخریب یک خانه فرو ریخته و تهیه سکونت موقت برای ساکنان خانه‌های فوق کلاً پنج میلیون ین نیاز است. مقدار تخفیف در این مثال در نظر گرفته نشده است.



شکل ح-۱ سطح آسیب و شاخص آسیب [33]

ح-۳-۴ نرخ مرگ و میر

بر اساس بررسی داده‌های میدانی پس از زلزله کوبا، فرض شد که نرخ مرگ و میر (d) افرادی که در خانه‌هایی که در معرض آسیب سازه‌ای با شاخص آسیب (w) باقی مانده‌اند، توسط معادله (ح-۳) به دست آمده است:

$$d = g_3(w) \equiv 0.0001 * exp(6.98\,w) * F(w; 0.6; 0.01) \qquad \text{(ح-۳)}$$

که در آن:

d نرخ مرگ و میر؛

g_3 یک تابع؛

w شاخص آسیب و F(w; 0.6; 0.01) یک تابع توزیع احتمالی با شرایط نرمال (CDF) با متوسط 0.6 و انحراف استاندارد 0.01 است.

ح-۳-۵ هزینه ارتقا

اگر dC المان هزینه با واحد هزاران ین بر هر مترمربع باشد و آن مقداری است که برای ارتقا به ازای یک افزایش درجه زلزله‌ای به میزان dI_G (بر اساس اطلاعات میدانی برای ۳۰۰۱ خانه چوبی بهینه‌سازی شده، در بین سال‌های ۲۰۰۳ میلادی الی ۲۰۰۵ میلادی در ایالت ایچی) لازم است، و توسط (ح-۴) مدل می‌شود:

$$dC = 163.dI_G + 5.8 \qquad \text{(ح-۴)}$$

که در آن:

dC المان هزینه و dI_G یک افزایش درجه زلزله است.

ح-۳-۶ برآورد ریسک زلزله

cdf مربوط به یک شاخص آسیب،w، مربوط به یک خانه ساخته شده دردوره زمانی j ، با توجه به این که آن خانه در معرض یک حرکت زمین با شدت v سانتی‌متر بر ثانیه باشد، از معادله (ح-۵) به‌دست می آید:

$$F_{W|V}(W|V;j) = F_{IG}[g_1^{-1}(w,v);j] \qquad \text{(ح-۵)}$$

که در آن:

$F_{IG}[g_1^{-1};j]$ cdf مربوط به I_G از یک خانه ساخته شده در دوره زمانی j ، w شاخص آسیب و $g_1^{-1}(w,v)$ معکوس تابع $g_1(w;v)$ از معادله (ح-۱) است.

cdf خسارت اقتصادی، Z، که با واحد هزاران ین در هر مترمربع بیان شده و آن مقداری است که برای یک خانه ساخته شده در دوره j که در معرض یک حرکت زمین با شدت v سانتی‌متر بر ثانیه بوده و این مقدار (cdf) با جای‌گذاری معادلات (ح-۲) و (ح-۵) در نهایت با معادله (ح-۶) به‌دست می‌آید:

$$F_{Z|V}(Z|V;j) = F_{w|v}[g_2(z)|v,j] \qquad \text{(ح-۶)}$$

که در آن: z خسارت اقتصادی، v سرعت حرکت زمین و j دوره زمانی است.

به طورمشابه، cdf مربوط به آهنگ مرگ و میر، D، برای یک فرد در یک خانه ساخته شده در دوره j که این خانه در معرض یک حرکت زمین با شدت v سانتی‌متر بر ثانیه قرار داشته باشد، می‌تواند با جای‌گذاری معادلات (ح-۳) و (ح-۵) نهایتاً با معادله (ح-۷) به‌دست آید:

$$F_{D|V}(D|V;j) = F_{w|v}[g_3^{-1}(d)|v,j] \qquad \text{(ح-۷)}$$

که در ان: D آهنگ مرگ و میر؛

v سرعت حرکت زمین؛

w شاخص آسیب و

j دوره زمانی است.

خسارت اقتصادی، (Z_{Tj})، برای خانه‌های در شبکه ۱ کیلومتری در طول دوره j و مرگ و میر، D_{Tj}، در میان مردمی که در آن خانه ها زندگی می‌کنند را می‌توان به ترتیب از معادلات (ح-۸) و (ح-۹) تخمین زد:

$$Z_{Tj} = Z \ . A_j \qquad \text{(ح-۸)}$$

$$D_{Tj} = D \, . \, M_j \, . \, m_p \qquad \text{(ح-۹)}$$

که در آن‌ها:

Aj مساحت کل کف خانه های چوبی است که در طول دوره زمانی j در شبکه ساخته شده اند؛

Mj تعداد افرادی که در این خانه ها زندگی می کنند؛

m_p احتمالی است که یک فردی در یکی از این خانه ها زندگی می کند در زمان زلزله قوی در خانه بماند؛

Aj به صورت حاصلضرب تعداد خانه های چوبی در هر شبکه در متوسط مساحت کف یک خانه (برابر $۱۲۵m^2$)، است. M_j را می‌توان بر اساس نسبت تعداد خانه‌های چوبی به کل تعداد خانه‌ها در هر شبکه برآورد کرد. در این‌جا فرض شده که $m_p = 0.5$ است.

با استفاده از قضیه احتمالات کلی، تابع توزیع احتمال تکمیلی[1] (قبلاً به منحنی ریسک شناخته شده است - پیوست ث را ببینید) از خسارت اقتصادی$R_m(z)$ و یا از میزان مرگ و میر $R_d(d)$ در یک شبکه یک کیلومتری را می‌توان به ترتیب توسط معادلات (ح-۱۰) و (ح-۱۱) مورد بررسی قرار داد.

$$R_m(z) = 1 - \sum_{j=1}^{3} \left\{ \int_0^{\infty} \left[F_{Z|V} \left({}^{Z}/_{A_j} \,|V;j \right) \right] . f_V(V) dV \right\} \qquad \text{(ح-۱۰)}$$

$$R_d(d) = 1 - \sum_{j=1}^{3} \left\{ \int_0^{\infty} \left[F_{D|V} \left({}^{D}/_{M_j} \, . \, m_p |V;j \right) \right] . f_V(V) dV \right\} \qquad \text{(ح-۱۱)}$$

که درآن‌ها:

j دوره زمانی؛

z خسارت اقتصادی؛

v سرعت حرکت زمین؛

Aj به صورت حاصلضرب تعداد خانه های چوبی در هر شبکه در متوسط مساحت کف یک خانه (برابر $۱۲۵m^2$)؛

Mj تعداد افرادی که در این خانه ها زندگی می کنند و

$f_V(V)$ تابع چگالی احتمالاتی از حداکثر سرعت شبکه مورد بررسی است.

شکل ح-۲ کل خسارت اقتصادی مورد انتظار در اثر زلزله ها در طول سی سال آینده در ایالت آیچی را به صورت جمع خسارت اقتصادی مورد انتظار $E[C_f]$ و هزینه ارتقا، C_u، (به‌صورت تابعی از سطح مورد نظر ارتقا، I_{GT}) نشان می‌دهد. تعداد مورد انتظار مرگ و میر، $E[D]$ نیز در شکل فوق نمایش داده شده است. فرض بر این است که تمام خانه‌هایی که I_G آن‌ها زیر سطح هدف هستند، دقیقاً تا این سطح (نشان داده شده در شکل ح-۲) ارتقا می‌یابند.

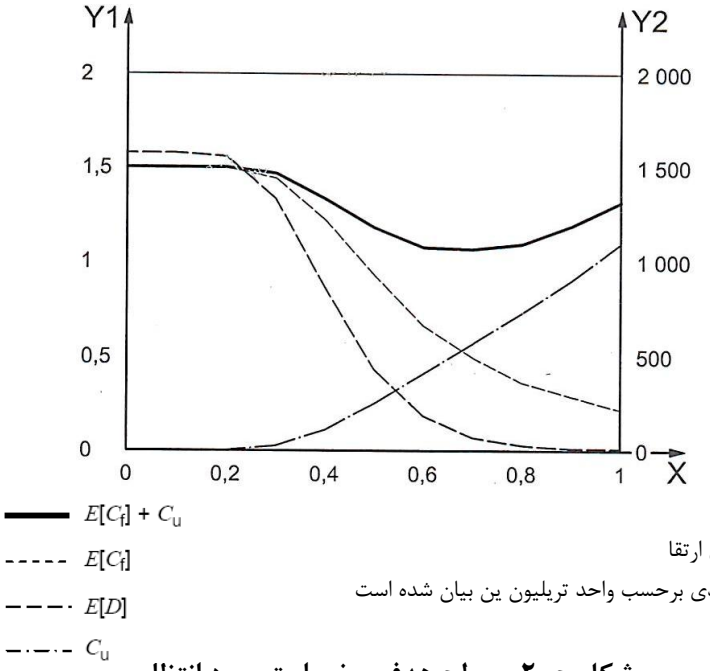
1- Complementary probability distribution function

در اغلب موارد تنها برخی از آن خانه‌ها ارتقا می‌یابند. شکل ح-۳ مورد انتظار مرگ و میر پس از ارتقا در طی ۳۰ سال آینده در ایالت آیچی را نشان می‌دهد که تابعی از سطح ارتقا مورد نظر و نسبت خانه‌های ارتقا یافته است. هزینه ارتقا نیز در این شکل آورده شده است.

ح-۴ سیاست‌گذاری‌های ترمیم ریسک

با افزایش I_{GT} مربوط به ارتقا، خسارت موردانتظار مطابق شکل ح-۲ کاهش می‌یابد، با این حال، این روند کاهشی با افزایش سریع هزینه ارتقا برای I_{GT} بالاتر از 0.8، از بین می رود. در نتیجه، کل خسارت اقتصادی مورد انتظار نه با یک سیاست‌گذاری همراه با I_{GT} برابر ۱٫۰ بلکه با یک I_{GT} بین ۰٫۶ تا ۰٫۸ به حداقل می‌رسد. عدد مورد انتظار از تلفات مرگ و میر $E[D]$، تا I_{GT} برابر با ۰٫۶ به سرعت کاهش یافته و برای بالاتر از این مقدار برای I_{GT}، مقدار $E[D]$ کاهش یافته و این اختلاف برای مقادیر I_{GT} بالاتر از ۰٫۸ نسبتاً کوچک است. شکل ح-۲ از نظر اثر بخشی هزینه[1]، پیشنهاد می‌نماید که بهتر است یک سطح هدفی برای ارتقا پایین‌تر از میزان موجود در ملاحظات طراحی در نظر گرفته شود.

در شکل ح-۳، دیده می‌شود همان طوری که سطح هدف برای ارتقا و نسبت خانه‌های ارتقا یافته افزایش می‌یابد، میزان مرگ و میرکاهش یافته. در زمانی که سطح هدف پایین است، خطوط منحنی‌های مرگ و میر تقریباً به موازی محور نسبت خانه‌های ارتقا یافته، بوده و درحالی که سطح هدف بالاتر از حدود ۰٫۷ باشد، این خطوط منحنی تقریباً موازی محور سطح هدف است. توصیه می‌شود با رعایت میزان مرگ و میر، مهم‌تر و موثرتر است که بیشتر خانه‌ها را تا حد کمی از عملکرد زلزله‌ای بهینه کرد تا این که تعداد کمی از خانه‌ها به سطح لازم طراحی درحال حاضر ارتقا یابند. همچنین، در هر گستره‌ای از نسبت خانه‌های ارتقا یافته، مقرون به صرفه نیست که ارتقائی تا یک مقدار I_{GT} بزرگ‌تر از ۰٫۷ صورت پذیرد که در این کار با سرمایه‌گذاری بالا، تعداد مرگ و میر کاهش کمی می‌یابند. ترجیحاً تعداد خانه‌های زیادی در حد امکان باید ارتقا یابند.



راهنما:

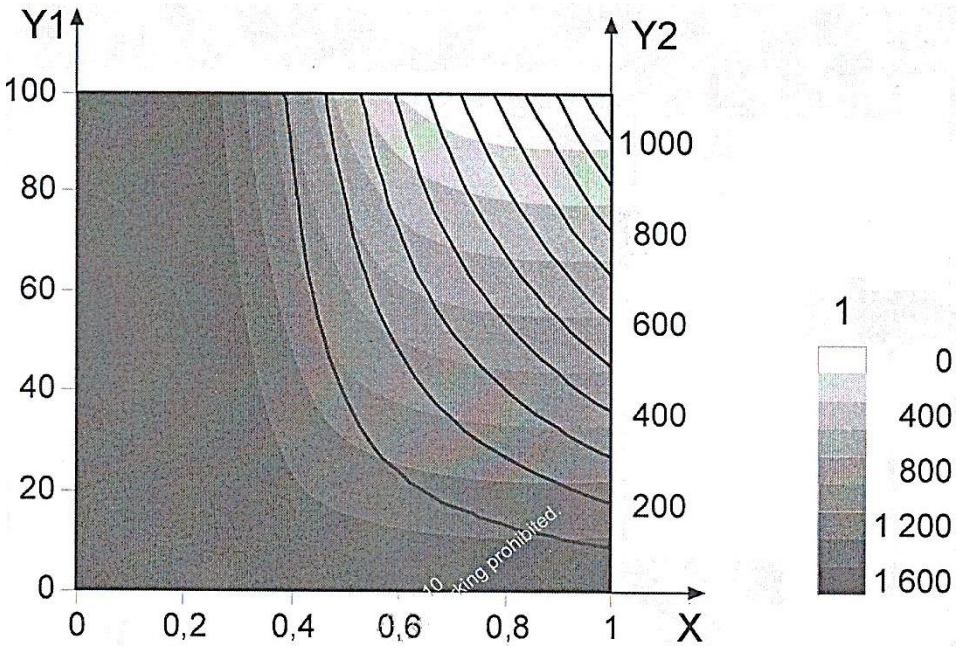
X I_G هدف برای ارتقا

Y_1 خسارت اقتصادی برحسب واحد تریلیون ین بیان شده است

Y2 مرگ و میر

شکل ح-۲- سطح هدف و خسارت مورد انتظار

1- Cost effectiveness



راهنما:

X I_G هدف برای ارتقا

Y1 نسبت خانه‌های ارتقا یافته بر حسب درصد

Y2 هزینه ارتقا بیان شده برحسب تریلیون ین

1 مرگ و میر ها

شکل ح-۳- تعداد مورد انتظار مرگ و میر به صورت تابعی از I_{GT} و نسبت خانه‌های ارتقا یافته

پیوست خ

(اطلاعاتی)

کتاب‌نامه

[1] استاندارد ملی ایران ۱۴۷۵۱- مبانی طراحی سازه‌ها – ارزیابی سازه‌های موجود

[2] استاندارد ملی ایران ۱۳۲۴۵- مدیریت ریسک – اصول و رهنمودها

[3] ISO/TS 16733, Fire safety engineering — Selection of design fire scenarios and design fires

[4] MARASHI, E., DAVIS, P. An argumentation-based method for managing complex issues in design of infrastructural systems, Reliability Engineering & System Safety, 91, 2006

[5] PERROW, C. Normal accidents: Living with high risk technologies, Princeton University Press, 1999

[6] AVEN, T. Foundations of risk analysis, John Wiley & Sons Ltd., 2003

[7] SCHRADER-FRECHETTE, K.S. Risk and rationality. Philosophical foundations for populist reforms, University of California Press, 1991

[8] LANGSETH, H., PORTINALE, L. Bayesian networks in reliability, Reliability Engineering & System Safety,92, 2007

[9] RØED, W., MOSLEH, A., VINNEM, J.E. and AVEN, T. On the Use of Hybrid Causal Logic Method in Offshore Risk Analysis, Reliability Engineering and System Safety, 94, 2009

[10] HALE, A., KIRWAN, B. and KJELLÉN, U. Safe by design: where are we now? Safety science, 45, 2007

[11] KROON, I.B. and MAES, M.A. Theoretical Framework for risk Assessment and Evaluation, Part of report: Risk assessment in engineering, Joint Committee of Structural Safety, 2007

[12] AYYUB, B.M. Elicitation of Expert Opinions for Uncertainties and Risks, CRC Press, Boca Raton, 2001

[13] CHHIBBER, S., APOSTOLAKIS, G. and OKRENT, D. A Taxonomy of Issues Related to the Use of Expert Judgements, Probabilistic Safety Studies, Reliability Engineering and System Safety, 38, pp. 27-45, 1992

[14] CUMMINGS, G.E. The Use of Data and Judgment in Determining Seismic Hazard and Fragilities, Nuclear Engineering and Design, **93**, pp. 275-279, 1986

[15] GROSSI, P. Earthquake Damage Assessment; From Expert Opinion to Fragility Curves, Proceedings of the 8th Joint Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability, Notre Dame, paper No. 123, 2000

[16] KIRCHER, C.A., WHITMAN, R.V. and HOLMES, W.T. HAZUS Earthquake Loss Estimation Methods Natural Hazards Review, ASCE, **7**(2), pp 45-59, 2006

[17] KIRWIN, B. *A Guide to* Practical Human Reliability Assessment, Taylor & Francis, London, 1994

[18] PATÉ-CORNELL, E. Probability and Uncertainty in Nuclear Safety Decisions, Nuclear Engineering and Design, 93, pp. 319-327, 1986

[19] PATÉ-CORNELL, E. Risk and Uncertainty Analysis in Government Safety Decisions, Risk Analysis, 22(3), pp. 633-646, 2002

[20] SIU, N. and APOSTOLAKIS, G., Uncertain Data and Expert Opinions in the Assessment of the Unavailability of Suppression Systems, Fire Technology, 24(2), pp. 138-162, 1988

[21] WINKLER, R.L. and CLEMEN, R.T. Sensitivity of Weights in Combining Forecasts, Operations Research, 40(3), pp. 609-614, 1992

[22] WINKLER, R.L., HORA, S.C. and BACA, R.G. The Quality of Experts' Probabilities Obtained Through Formal Elicitation Techniques, NRC-02-88-005, Nuclear Regulatory Commission, Washington D.C.,1992

[23] KLINKE, A. and RENN, O. A new approach to risk evaluation and management: Risk based, precaution based, and discourse-based strategies, Risk Analyses, Vol. 22, No. 6, 2002

[24] German Advisory Council on Global Change (WBGU), 1998 annual report concerning global environmental risks

[25] BOMMER, J.J. Deterministic vs. probabilistic seismic hazard assessment: an exaggerated and obstructive dichotomy, Journal of Earthquake Engineering, Vol. **6**, Special Issue 1, pp. 43-73, 2002

[26] KAMEDA, H. and NOJIMA, H. Simulation of risk-consistent earthquake motion, Earthquake eng. struct. dyn., 16, pp. 1007-1019, 1988

[27] SHINOZUKA, M., FENG, M.Q., LEE, J. and NAGNUMA, T. Statistic analysis of fragility curves, J. Engrg. Mech., ASCE, 126(12), pp. 1224-1231, 2000

[28] SINGHAL, A. and KIREMIDJIAN, A.S. Method for probabilistic evaluation of seismic structural damage, J. Struct. Engrg., ASCE, 122(12), pp. 1459-1467, 1996

[29] FLIN, R. Sitting in the hot seat, Wiley, 1996

[30] KUNREUTHER, H., DEODATIS, G. and SMYTH, A. Integrating mitigation with risk-transfer instruments, Catastrophe Risk and Reinsurance: A Country Risk Management Perspective, 2003

[31] MORI, Y., YAMAGUCHI, T. and IDOTA, H. Optimal Strategy for Upgrading Existing Non-Conforming Wooden Houses, Application of Probability and Statistics in Civil Engineering, Kanda, Takada, and Furuta (eds), 7 pp. (CD-Rom), 2007

[32] Japan Upgrading Wooden Housings Business Co-operation Earthquake-resistant result data,

http://www.mokutaikyo.com/200301 (in Japanese), 2005
[33] OKADA, S. and TAKAI, N. Damage index function of wooden buildings for seismic risk management, Journal of Structural Engineering, No. 582, pp. 31-38 (in Japanese), 2004
[34] National seismic hazard maps for Japan, Headquarters for Earthquake Research Promotion, http://www.j-shis.bosai.go.jp/ (in Japanese)