



تحلیل ریسک و فاجعه به بهانه انفجار در بندر رجایی



دکتر کامران امامی
مهندس مشاور کُریت کارا

مهندس مشاور

تحلیل ریسک و فاجعه در جهان امری حیاتی برای تاب‌آوری جوامع و زیرساخت‌ها محسوب می‌شود. از بلایای طبیعی گرفته تا حوادث صنعتی و انسانی، هر رویداد ناگوار می‌تواند پیامدهای گسترده‌ای بر اقتصاد، محیط‌زیست و سلامت انسان داشته باشد. در این میان، انفجارها در مراکز صنعتی و بنادر به دلیل ماهیت مواد درگیر و تراکم فعالیت‌ها، از جمله حوادث پرخطر به شمار می‌روند. حادثه اخیر در بندر رجایی ایران که در این گزارش به آن پرداخته خواهد شد، نمونه‌ای تلخ از این دست فجایع است که لزوم بازنگری جدی در پروتکل‌های ایمنی و مدیریت ریسک را بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد و اهمیت تحلیل همه‌جانبه این گونه حوادث را برای جلوگیری از تکرار آنها گوشزد می‌کند. این مقاله را با هم می‌خوانیم:

**توجه به ایمنی همگانی
نشان‌گر بلوغ، پیشرفت و
توسعه یافتگی یک جامعه است.**

توضیح:

با توجه به استفاده از رنگ‌های مختلف در نمودارهای این مطلب، توصیه می‌شود خوانندگان برای درک بهتر مفاهیم درون نمودارها، به نسخه رنگی فصلنامه در سایت جامعه مهندسان مشاور ایران مراجعه کنند.



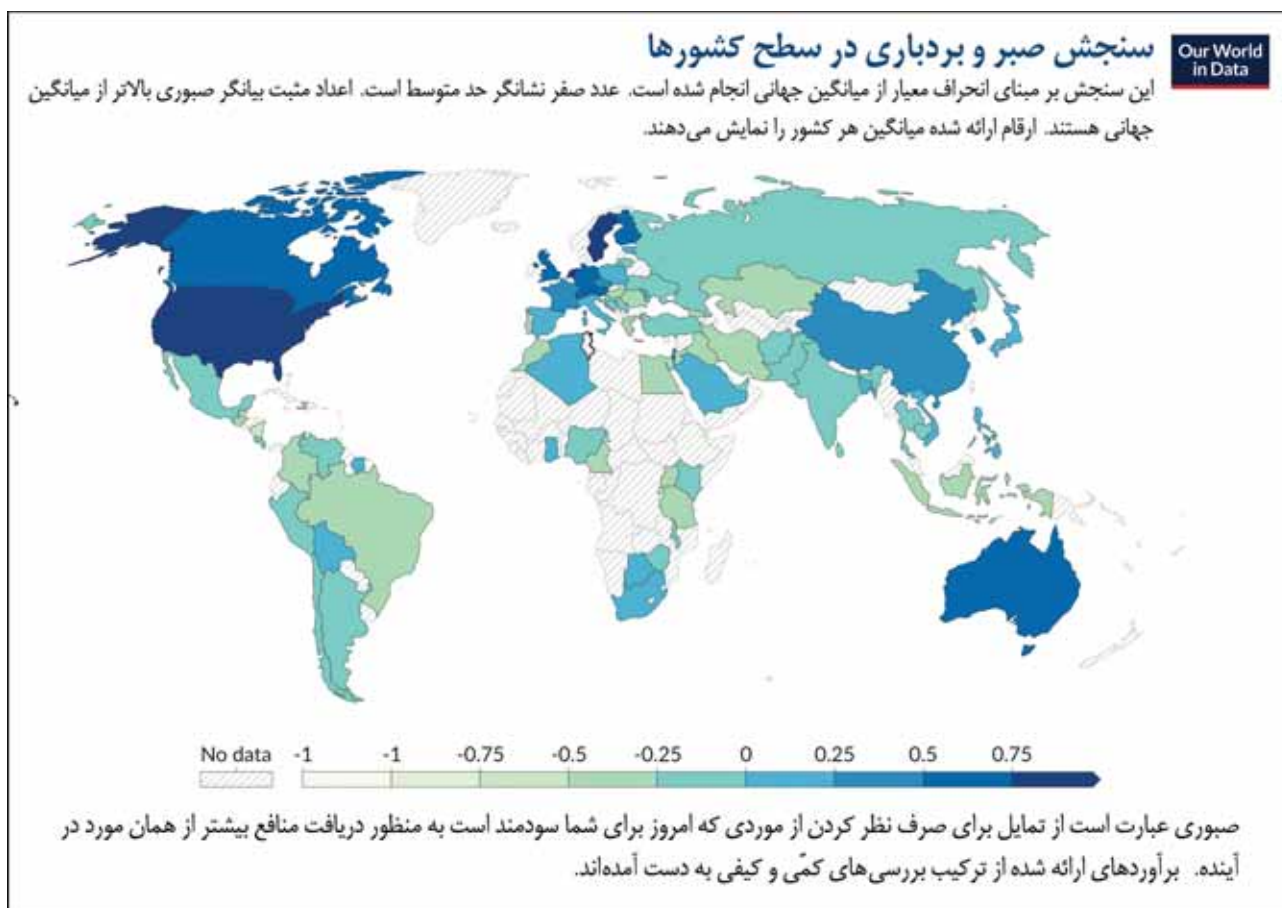
ایران و خطرپذیری

به قول دکتر کاتوزیان، ایران بیشتر تمایل به یک جامعه کوتاه‌مدت دارد، از طرف دیگر مدیریت ریسک دید درازمدت می‌طلبد و در نتیجه از موتورسواران پرخطر تا زلزله‌های مرگباری با تلفات چند هزار نفری (طبس، منجیل - رودبار، بم)، از تند سیلاب‌های رود دره‌های شمال تهران تا انفجار قطار نیشابور و از آتش‌سوزی ساختمان پلاسکو تا فروریختن ساختمان متروپل، جامعه کوتاه‌مدت ایران مرتباً با فجایع مرگبار رودرروست. نمودار شماره ۱ که میزان صبوری و بردباری مردم کشورهای مختلف را نشان می‌دهد، خود گواه کوتاه‌مدت بودن جامعه ایران است که ریشه در این شتاب‌زدگی دارد.

در بیشتر موارد، بلایای بسیار فاجعه‌بار با فاصله زمانی طولانی در یک منطقه یا کشور روی می‌دهند و در نتیجه افکار عمومی تا زمان وقوع یک بلای طبیعی فاجعه‌بار و مهیب، حساسیت لازم در مورد خطرپذیری و نیاز به کاهش آسیب‌پذیری را ندارد.

چرا زلزله‌های بویین‌زهرا، قیر و کارزین، طبس، رودبار و منجیل، بم، آذربایجان و کرمانشاه با مجموع ۱۰۰ هزار کشته، موج مدیریت ریسک زلزله در کشور (مشابه ژاپن و هلند) را به راه نینداخت؟ چرا ۳۳ سال بعد از سیلاب فاجعه‌بار گلاب‌دره و دربند که منجر به کشته شدن حدود ۴۰۰ نفر از هموطنان مان شد، هنوز سامانه پیش‌بینی و هشدار سیلاب برای این حوضه‌ها عملیاتی نشده است پاسخ این پرسش‌ها را می‌توان در جامعه کوتاه‌مدت ایرانی و بی‌توجهی دولت به اصول مدرنیته دانست.

افکار عمومی یک دوره ۵۰ یا ۱۰۰ ساله بدون حادثه را معادل ایمنی کامل محسوب می‌کند. برای مثال، وقوع زلزله، سونامی و آتش‌سوزی در لیسبون پایتخت پرتغال در سال ۱۷۵۵ میلادی، نیمی از جمعیت این شهر معادل ۱۰۰ هزار نفر را به کام مرگ کشید و تا سال‌ها یأس شدید فلسفی را بر اروپای آن زمان حاکم کرد. با این وجود به‌جز دانشمندان و متخصصان، افراد کمی از این فاجعه انسانی و ریسک وقوع زلزله‌ای مشابه آگاهی دارند. در این راستا کارشناسان باید ضمن ایجاد حساسیت لازم در مورد خطرپذیری



نمودار شماره ۱: نمایش میزان صبوری در کشورهای جهان؛ جایگاه ایران به همراه کشورهایمانند نیکاراگوئه، مجارستان و کامرون در بین ۵ درصد کشورهای است که شتاب‌زده‌ترین مردم را دارند. کوتاه مدت بودن جامعه ایران نیز ریشه در این شتاب‌زدگی دارد.

راهبردهای تحلیل و مدیریت ریسک

"تحلیل و مدیریت ریسک" برهه زمانی پیش از تولد تا پس از مرگ افراد را در بر گرفته و علوم مختلفی از ریاضیات و مهندسی گرفته تا جامعه‌شناسی و روان‌شناسی را شامل می‌شود.

تحلیل ریسک هر سیستم از ارکان اصلی مدیریت ریسک پیش از طراحی تا حین بهره‌برداری آن سیستم است و شامل مراحل شناسایی وقایعی که می‌توانند منجر به تخریب شوند، برآورد احتمالات وقایع مختلف، محاسبه احتمال تخریب، برآورد عواقب تخریب و محاسبه ریسک می‌شود. پس از برآورد ریسک باید با توجه به تمامی شرایط منطقه، این ریسک با ریسک قابل قبول اجتماعی مقایسه شود و در صورت اختلاف بیش از حد مجاز با آن، در جهت نزدیکی آن به ریسک قابل قبول اجتماعی اقدام گردد. کنترل یا مهار ریسک باید به کمک روش‌های سازه‌ای یا غیرسازه‌ای انجام شود و مقادیر بسیار پایین‌تر آن نیز - که به معنای هزینه‌های اضافی در ساخت است - شناسایی و تا حد ممکن حذف یا تخفیف یابد. ارکان مدیریت ریسک در نمودار شماره ۲ آورده شده است.

مفهوم ایمنی

ایمنی عبارت است از به‌کارگیری مهارت‌های فنی و مدیریتی ویژه در قالبی نظام‌مند و آینده‌نگر



تصویر شماره ۱: تخریب سد South Fork در سال ۱۸۸۹ منجر به مرگ بیش از ۲ هزار نفر در آمریکا شد.



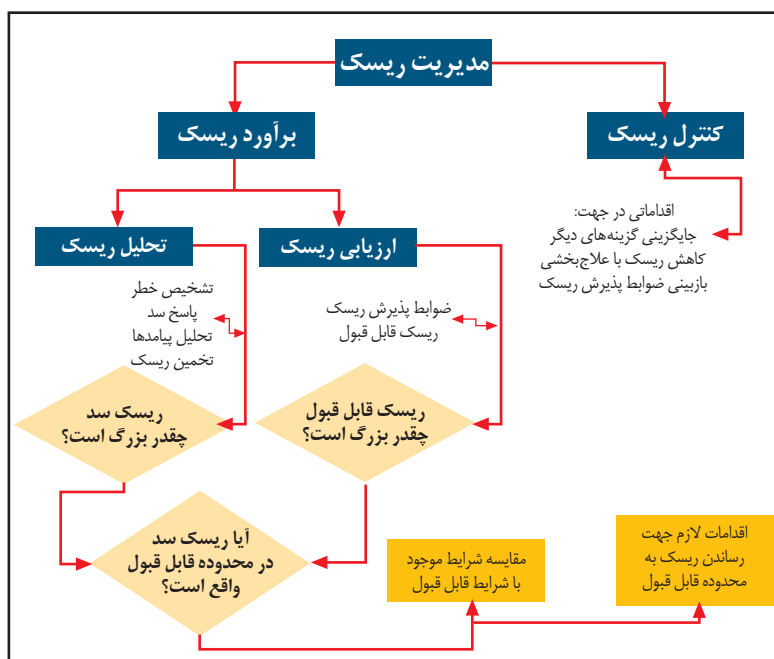
تصویر شماره ۲: گورستان اجساد کشته‌شدگان تخریب سد South Fork



(احتمال - عواقب - آسیب‌پذیری) برای جامعه، به تبیین راهبردها و راهکارهای لازم هم‌پیردازند. برای مثال، در رابطه با سونامی سال ۲۰۰۴ جنوب شرق آسیا، باید یادآور شد که یک سامانه هشدار سونامی مشابه اقیانوس آرام در اقیانوس هند، می‌توانست جان ده‌ها هزار نفر را نجات دهد. در عمل سال قبل از وقوع سونامی ۲۰۰۴، پیشنهاد راه‌اندازی و استقرار یک سامانه هشدار سونامی در این منطقه مطرح گردید؛ اما از آنجایی که پس از سال ۱۸۸۳ سونامی بزرگی در جنوب آسیا به‌وقوع نیپیوسته بود، این پیشنهاد اجرایی نشد. لازم به یادآوری است که هزینه سامانه هشدار سونامی پیشنهادی حدود ۷۰ میلیون دلار برآورد شده بود؛ این به معنای آن است که با هزینه‌کرد ۳۵۰ دلار امکان نجات جان یک انسان وجود داشت.

از سوی دیگر باید توجه داشت که ۱۰ تا ۲۰ درصد ثروت تولیدشده در کشورهای توسعه‌یافته در زمینه ایمنی، کاستن ریسک و سلامتی عمومی سرمایه‌گذاری می‌شود. برای مثال طوفانی با تلفات انسانی ۱۸۰۰ نفر در کشور هلند در سال ۱۹۵۹ روی دارد و به دنبال آن پروژه عظیم دلتا با هزینه بیش از ۱۲ میلیارد دلار با موفقیت اجرا شد (هزینه کل پروژه در سال ۱۹۵۹ بیست درصد تولید ناخالص ملی این کشور برآورد می‌شود). طوفان مرگباری در ژاپن چند سال بعد از پایان جنگ جهانی دوم و زمانی که این کشور در حال بازسازی خسارات جنگ بود موجب گردید تا بنیادهای مدیریت کارای بلایای طبیعی در این کشور شکل بگیرد و تا چند دهه بعد تعداد تلفات انسانی ناشی از بلایای طبیعی در ژاپن کمتر از ۱۰۰ نفر در سال بماند.

با توجه به تجارب موفق هلند و ژاپن پرسش اینجاست که چرا زلزله‌های بویین‌زهر، قیر و کارزین، طیس، رودبار و منجیل، بم، آذربایجان و کرمانشاه با مجموع ۱۰۰ هزار کشته، موج مدیریت ریسک زلزله در کشور (مشابه ژاپن و هلند) را به راه نینداخت؟ به‌عنوان یک مثال دیگر، ۳۳ سال بعد از سیلاب فاجعه‌بار گلاب‌دره و دربند که منجر به کشته شدن حدود ۴۰۰ نفر از هموطنان مان شد، هنوز سامانه پیش‌بینی و هشدار سیلاب برای این حوضه‌ها عملیاتی نشده است (هزینه‌های راه‌اندازی سامانه پیش‌بینی و هشدار سیلاب گلاب‌دره و دربند کمتر از قیمت یک آپارتمان در منطقه متوسط تهران خواهد بود). پاسخ این پرسش‌ها را می‌توان در جامعه کوتاه‌مدت ایرانی و بی‌توجهی دولت به اصول مدرنیته دانست.



نمودار شماره ۲: ارکان مدیریت ریسک در مدیریت ایمنی سد

به منظور شناسایی و کنترل خطرات موجود در طول عمر یک پروژه. در فرهنگ لغات، کلمه ایمنی به معنی امنیت، آسایش، سلامتی و ... آمده است و از نظر تعریف عبارت است از میزان یا درجه فرار از خطر. با توجه به تغییرپذیری ذاتی انسان و غیرقابل پیش بینی بودن کامل اعمال و رفتار او و همچنین علل دیگر، به نظر می رسد که هیچ گاه ایمنی صددرصد حتی برای یک دوره کوتاه مدت نیز وجود نداشته باشد؛ به همین علت کارشناسان امر معمولاً به جای کلمه ایمنی از اصطلاحاتی نظیر "پیشرفت ایمنی"، "ارتقای ایمنی" و "ایمن تر" استفاده می کنند.

تعریف ریسک

ریسک مفهومی ساده و درعین حال بسیار عمیق دارد که شناخت و کمی ساختن هر یک از مؤلفه های آن، کاری پیچیده و هزینه بر است. به طور عام ریسک به کمک رابطه زیر تعریف می شود:

$$\text{Risk} = \text{Exposure} * \text{Hazard}$$

در این رابطه:

- خطر (Hazard): عبارت است از بیان این که چگونه یک شیء یا وضعیت می تواند موجب آسیب گردد.
- در معرض بودن (Exposure): به معنی میزان متأثر شدن افراد در معرض «خطر» از شیء یا وضعیت مورد نظر است.

هنگامی که از خطر صحبت می شود منظور تمامی صدمات جانی، خرابی ها، تلفات و ... محتمل است؛ اما عبارت در معرض بودن، به مفاهیم توانر و احتمال وقوع مربوط می شود.

ریسک موضوعی چندبُعدی است که عواملی چون "پایداری سیستم ایمنی"، "بهبود وضعیت اجتماعی"، "حفاظت از جان و زندگی انسان ها"، "مواد"، "مسائل مالی" و "خسارت های زیست محیطی" و ... در آن دخیل اند.

ریسک هم سنگ

فلسفه کاربرد "ریسک هم سنگ" در فهم جمله معروف «زنجر از ضعیف ترین حلقه خود پاره می شود» نهفته است. از این جمله دو برداشت می توان داشت: اول آنکه محکم تر کردن حلقه های محکم هدر دادن وقت و هزینه است و دوم آنکه برای بالابردن ایمنی،

حلقه ضعیف را باید تقویت نمود. در حقیقت "تحلیل ریسک"، شناسایی همین حلقه های ضعیف و میزان ضعف آنهاست.

"تحلیل ریسک" به عنوان تلفیقی از قضاوت مهندسی و علم، امکان ارزیابی هم سنگ شرایط نامطلوب را فراهم می کند. "تحلیل ریسک" امکان بررسی عمیق تر و همه جانبه تر ایمنی را ممکن می سازد و می تواند در گستره وسیعی تمامی عواملی را که ایمنی را تهدید نموده و یا آن را بهبود می بخشد، شامل شود.

در مرحله بعد هماهنگی بین ریسک های موجود در جامعه مانند ریسک بیماری ها، ریسک رانندگی، ریسک صنعتی از قبیل کارخانه های شیمیایی و پالایشگاه ها و ... و ریسک فنی در حوزه طرح های عمرانی از قبیل سدسازی، جاده ها و ... است. در این فاز سعی می شود که توزیع منابع و سرمایه گذاری ها با دو هدف تأمین رفاه و امنیت مردم به صورت عادلانه و همسان بین بخش های مختلف انجام گیرد. این مباحث، در رویکرد "تحلیل ریسک" نقش کلیدی و محوری دارند.

تأمین ایمنی مطلق در برابر گزند پدیده های خطرناک و زیان بار طبیعی، نظیر سیل و زلزله، نه از نظر مالی و اقتصادی امکان پذیر است و نه از نظر فنی میسر و ممکن. برای حل این مسأله باید تعادلی بین فایده هایی که از سد عاید می شود و آن حدی از ایمنی که معقول و منطقی به نظر می رسد و فراتر از آن حد، ضرورتی به محکم کاری بیشتر و افزایش ایمنی نیست، برقرار گردد. یافتن و برقراری این تعادل البته به معنای حذف خطر نیست؛ بلکه به مفهوم کاهش خطر تا بدان حدی است که قابل قبول و پذیرفتنی تلقی شود. در نمودار شماره ۳، دوره بازگشت و تلفات محتمل فجایع مختلف (از چند صد نفر تا چند صد میلیون نفر) ارائه شده است.

یک نمونه دیگر از نتایج تحقیقات درباره خطرات مرگباری که به واسطه زندگی در جامعه امروزی جان انسان ها را تهدید می کند در جدول شماره ۱ آمده است. ارقام مندرج در این جدول میانگین ارقام مربوط به چند کشور غربی است که در سال ۱۹۸۶ منتشر

مخاطرات غیر داوطلبانه یا تحمیلی تقسیم کرد. اطلاعاتی از این قبیل که در واقع معرف شرایط عمومی زندگی و کار در یک جامعه معین است به طور بسیار متنوعی گردآوری و ارائه می شود و در بسیاری از کشورهای صنعتی مبنای وضع مقررات ایمنی برای انواع مختلف تأسیسات و صنایع قرار می گیرد.

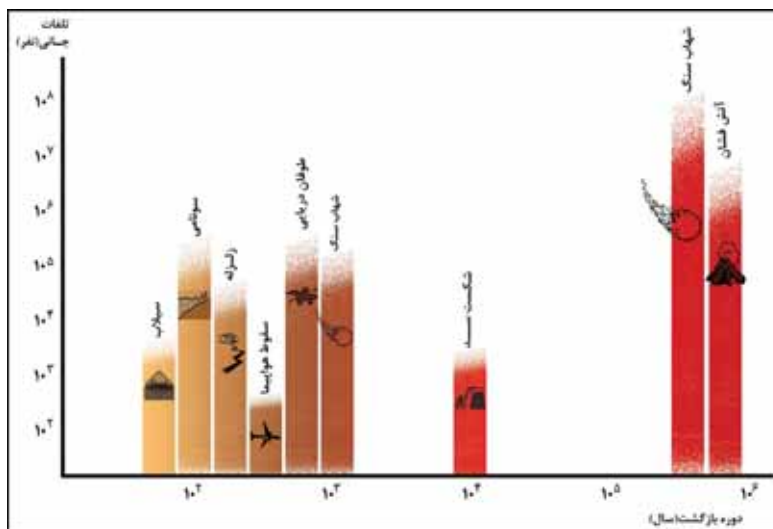
مطلب مهمی که باید به مباحث فوق افزود به ریسک اجتماعی یا مخاطرات گروهی مربوط می شود. تلفات جمعی و گروهی تعداد نسبتاً زیاد و قابل توجهی از شهروندان هر جامعه، رویدادی است که ماهیت یکسان و مشابهی با مرگ افراد مختلف در سوانح گوناگون ندارد، یعنی دامنه و عمق واکنش عینی و ذهنی و روانی جامعه به این قبیل سوانح مرگبار گروهی تفاوت هایی با پیشامدهای تصادفی برای افراد منفرد دارد.

نمونه هایی از این گونه سوانح را می توان در تصادفات (عموماً برون شهری) وسایل نقلیه عمومی نظیر اتوبوس ها (و یا حتی خودروهای شخصی)، سقوط هواپیما، تصادف قطارها یا واژگون شدن واگن ها به دلایل اتفاقی گوناگون، سانحه در کارخانه ها (به ویژه صنایع شیمیایی و پتروشیمی)، نیروگاه های هسته ای، معادن و نیز شکست سدها مشاهده کرد.

تواتر یا فراوانی وقوع یک سانحه عمده در یک کارخانه مواد شیمیایی یا پتروشیمی (به مساحت تقریبی ۱۵۰×۱۵۰ متر) در سطح جهانی بین یک در هزار (۰/۰۰۱) تا یک در پنج هزار (۰/۰۰۰۲) در هر سال به ازای هر کارخانه مشاهده و گزارش شده است. با تأکید بر طراحی دقیق و سنجیده و اعمال مدیریت کارآمد و قوی برای مهار خطرات می توان احتمال بروز این گونه سوانح را به یک در ده هزار (۰/۰۰۰۱) در هر سال برای هر کارخانه تقلیل داد. همین شیوه برخورد، موضوع یکی از رویکردها به مقوله ایمنی تأسیسات صنعتی بوده است.

ریسک قابل قبول اجتماعی (SAR)^(۱)

"ریسک" موضوعی چندبعدی است که عواملی چون "پایداری سیستم ایمنی"، "بهبود وضعیت اجتماعی"، "حفاظت از جان و زندگی انسان ها" و "دارایی ها و خسارات مالی و زیست محیطی" در آن



نمودار شماره ۳: دوره بازگشت و تلفات محتمل فجایع مختلف

شده است. طبق این جدول تلفات بر اثر انواع سوانح مندرج در جدول، ۴۶۰ نفر در سال به ازای هر یک میلیون نفر از جمعیت و نرخ تلفات رانندگی ۲/۴×۱۰^{-۴} است.

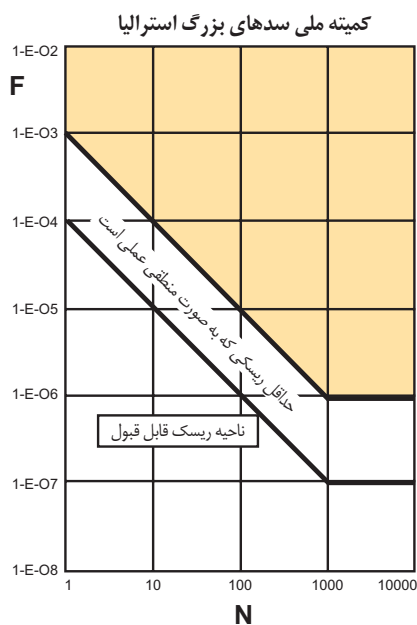
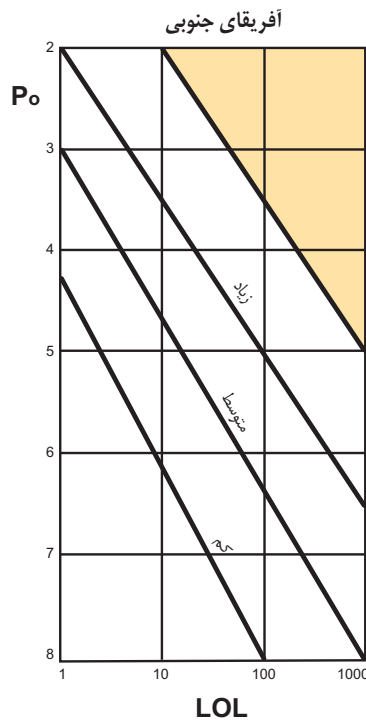
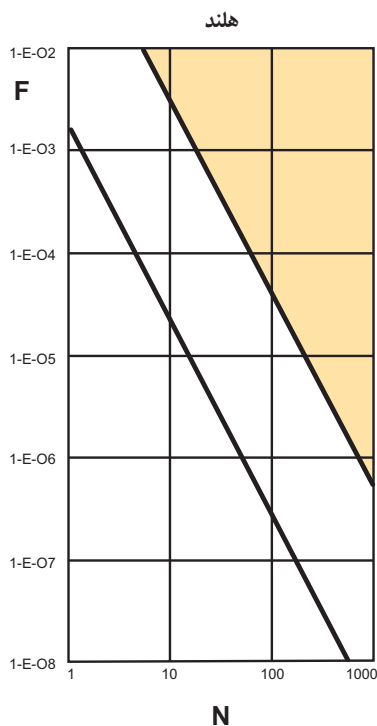
بر اساس اصل پارتو انتظار می رود که حدود ۸۰ درصد مرگ و میرهای حوادث ناشی از ۲۰ درصد علل باشد. در عمل مرگ و میر ناشی از حوادث رانندگی و سقوط از ارتفاع که ۱۸ درصد علل محسوب می شوند، موجب ۸۰ درصد مرگ های تصادفی اند.

میزان خطر سوانح مرگبار در هر جامعه، معیار عمومی و اولیه ای را برای تعیین حداقل ایمنی مورد نیاز در انواع پروژه های مهندسی به دست می دهد. همان طور که اشاره شد، بر اساس داده های آماری می توان به اعداد و ارقامی درباره سطح و میزان مخاطرات مرگباری که هر فرد جامعه به طور متوسط در هر سال با آن روبرو روست رسید. این گونه مخاطرات را می توان به حداقل دو گروه مخاطرات یا خطرپذیری داوطلبانه و

جدول شماره ۱: آمار مرگ و میر در چند کشور غربی

علت مرگ	تعداد در هر میلیون نفر در سال
کلیه عوامل (طبیعی + حوادث)	۱۱۰۰۰
مرگ های ناشی از حوادث (کلیه حوادث)	۴۶۰
حوادث رانندگی	۲۴۰
سقوط	۱۳۰
آتش سوزی	۲۸
غرق شدن	۲۴
مسمومیت	۱۵
سوانح هوایی	۶/۵
سوانح آبی	۵/۳
سوانح راه آهن	۴/۳
سوانح زیست محیطی	۳/۸
مسمومیت به وسیله دارو	۳/۵
رعد و برق	۰/۹

1- Socially Acceptable Risk (SAR)



نمودار شماره ۵: نمودارهای F/N در استرالیا، آفریقای جنوبی و هلند

متحد، آفریقای جنوبی، هلند و کانادا به کار گرفته می شوند. نمودارهای F/N که در استرالیا، آفریقای جنوبی و هلند به کار گرفته می شوند در نمودار شماره ۵ نشان داده شده اند. در نمودار استرالیا ناحیه ای به معنای ALARP که مخفف عبارت "ریسک پایین تا آنجایی که به طور منطقی ممکن باشد"، اختصاص داده شده است. در این منطقه این سؤال مطرح می شود که آیا کاهش ریسک هزینه بسیار بالای اقتصادی را می طلبد و یا از نظر

فنی غیرممکن است؟ اگر جواب مثبت باشد می توان حد بالای این ناحیه را قبول نمود؛ ولی اگر جواب منفی باشد، باید به دنبال کاهش ریسک بود؛ بنابراین نمودار F/N راهنمایی برای اقدامات کاهش ریسک بوده و مفهوم هزینه پرداخت شده برای (حفظ) جان یک نفر است و می تواند در تخصیص بهینه منابع به کار گرفته شود.

در نمودار هلند، روش های آماری و ریاضی به طور تلفیقی به کار گرفته می شوند. برای مثال عدم قطعیت در برآورد تعداد تلفات انسانی با انحراف معیار $\sigma(N)$ ارائه می شود و عامل دیگری به نام β که نمادی از ریسک داوطلبانه است در نمودار ارائه شده است. در هلند برای حفظ مناطق مسکونی از خطر سیلاب ها از خاکریزها استفاده

دخیل خواهند شد. ابعاد این موضوع به خوبی در نمودار شماره ۴ نشان داده شده است. مثال های "داگلاس و ویلداسکی" در کتاب «ریسک و فرهنگ» و دیدگاه مردم ایالات متحده در مورد خطرهای مهم مدنظر، خود گواهی مناسب بر درک خاص مردم از ریسک است.



نمودار شماره ۴: ابعاد ریسک

علاوه بر این مردم صرفاً بر اساس احتمال وقوع یک حادثه، ریسک های مربوط به آن را وزن دهی نمی کنند. بلکه آنها به این نکته نیز توجه می کنند که آیا برای تقبل ریسک حق انتخاب دارند یا نه و اینکه تا چه حد می توانند آن را کنترل کنند. مشکل، زمانی ظهور می کند که پروژه مفروض جان فردی را در برابر مؤلفه ای از ریسک قرار می دهد که خود انتخاب نکرده است.

ریسک قابل قبول اجتماعی در برخی کشورها و سازمان ها در نمودارهایی موسوم به F/N ارائه می شود. در این نمودارها F احتمال تجمعی سناریوهایی که منجر به تلفات انسانی می شوند اعم از زلزله، تصادف قطار، شکست سد و غیره و N تعداد تلفات انسانی است. منحنی های F/N به این صورت تعریف می شوند که احتمال تلفات سالانه جانی به اندازه N نفر یا بیشتر در هر حادثه ای نباید از مقدار معینی که تابعی از N است، تجاوز کند. در منحنی های F/N تعداد نفر مرگ و میر در حوادث با انواع مختلف به روشنی نشان داده شده و تطبیق چشمی حوادث مختلف از لحاظ احتمال تلفات جانی آسان است.

در حال حاضر نمودارهای F/N در استرالیا، ایالات

"خسارات اجتماعی"، "زیست محیطی (خسارات زیست محیطی)"، "جمعیت در ریسک (جمعیت در معرض ریسک)" و "ریسک سالانه تلفات در ساعت (که در معرض خطر باشند)".

در انگلیس حد بالای ریسک قابل تحمل برای تأسیسات موجود ۱ در ۵۰۰۰ در هر سال برای ۵۰ نفر تلفات است که با یک نقطه تک در نمودار شماره ۶ نشان داده شده است. در مورد تأسیسات جدید اگر احتمال تلفات زیاد بیش از 10^{-5} در سال باشد، گزینه مردود است و اگر احتمال وقوع برابر 10^{-6} در سال باشد گزینه مورد تأیید قرار می گیرد. برای تأسیسات موجود محدوده ریسک قابل تحمل بین 10^{-4} و 10^{-6} در ۱۰ سال و برای تأسیسات جدید بین 10^{-5} و 10^{-6} در ۱۰ سال است.

مثال های فوق که به مسأله مخاطرات گروهی یا ریسک اجتماعی مربوط بوده است حاوی نکات مهم و جالب توجهی است، از جمله نقش دستگاه های مسئول دولتی در تحدید مخاطرات تأسیسات و به ویژه وضع مقررات برای رعایت حداقل ایمنی. یکی از نکات مهم در این زمینه آن است که هزینه بروز سانحه در یک تأسیسات صرفاً به خسارات وارد بر مالک آن تأسیسات محدود نمی شود، بلکه دیگران، یعنی مردم عادی نیز ممکن است از گزند صدمات و ضایعات سانحه در امان نمانند. حذف کامل خطر در واقع میسر و شدنی نیست و تنها در صورتی مطرح خواهد بود که هیچ تأسیسات دیگری اجازه تأسیس نیابد. کاهش خطر، اصل اساسی در مواجهه با این موضوع است؛ اما این کاهش خطر نیز نمی تواند به صورت نامحدود مطرح باشد؛ زیرا امکانات و منابع موجود برای ایمن سازی هر نوع تأسیسات آسیب پذیر و آسیب زننده نیز حدی دارد و بنابراین هدف، یافتن آن حد از ایمنی (مخاطره) برای هر گروه از تأسیسات است که قابل قبول، پذیرفتنی و مجاز محسوب شود.

همان طور که اشاره شد نمودارهای F/N ابزارهایی هستند که برای ارائه مباحث فوق به کار می روند. در این نمودارها محور عمودی سوانح مرگبار در هر سال (تواتر یا فرکانس یا فراوانی وقوع سانحه) را نشان می دهد و محور افقی نیز تعداد کشته شدگان را مشخص می کند. مقیاس هر دو محور لگاریتمی است. فاصله بین این دو خط همان دامنه محدوده ای را معرفی می کند که در آن محدوده باید در فکر کاهش خطر بود، زیرا میزان خطر تأسیساتی که از نظر ایمنی در داخل این محدوده قرار می گیرند، بیشتر و بالاتر از آن حد مطلوبی است که در آن خطر عملاً حس نمی شود یا بروز سانحه از نظر جامعه اهمیتی نخواهد داشت.

برای مثال، حد بالا و پایین برای پذیرش خطر مرگ ۱۰ نفر یا بیشتر، طبق فرمول های فوق عبارت است از یک به صد هزار و یک به ۱۰ میلیون (رخدادهای یک صد هزار ساله و ده میلیون ساله). اگر احتمال بروز سانحه در نیروگاه هسته ای معینی بیش از یک به ۱۰ میلیون باشد در آن صورت طبق ضوابط موجود در آن کشور، افزایش ایمنی نیروگاه و صرف هزینه برای پیشگیری از بروز سوانح مرگبار

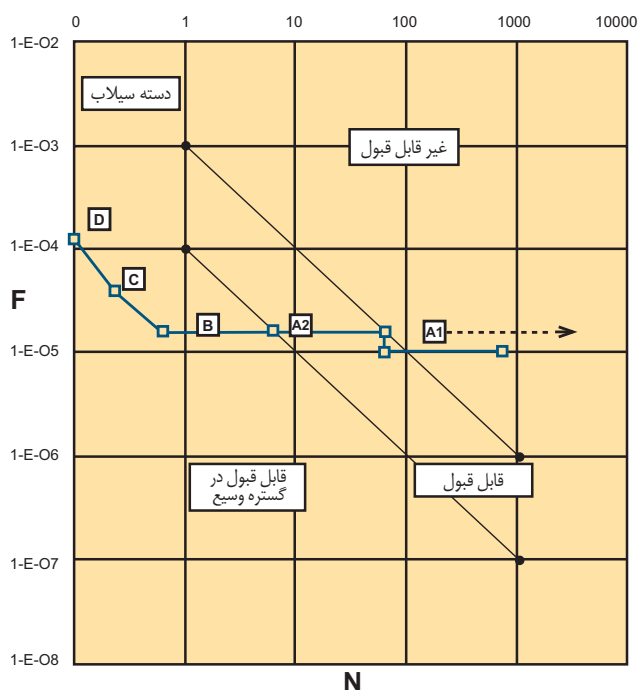
شده است. با توجه به افزایش فعالیت های اقتصادی در مناطق حفاظت شده از سال ۱۹۶۰ به بعد و توسعه مناطق مسکونی در ترازهای پایین تر از سیل بندها و نیز ضرورت توجه به عواقب زیست محیطی و فرهنگی سیل و لزوم حفظ چهره امن کشور هلند، گزینه های مختلفی برای افزایش ایمنی سیل بندها مطرح شده اند. یکی از موارد لازم برای مقایسه گزینه های مختلف محاسبه احتمال قابل قبول برای شکست است که رابطه زیر جهت برآورد آن ارائه شده است:

$$P_{d/f} = \frac{\beta_i \times 10^{-4}}{P_{d/f}}$$

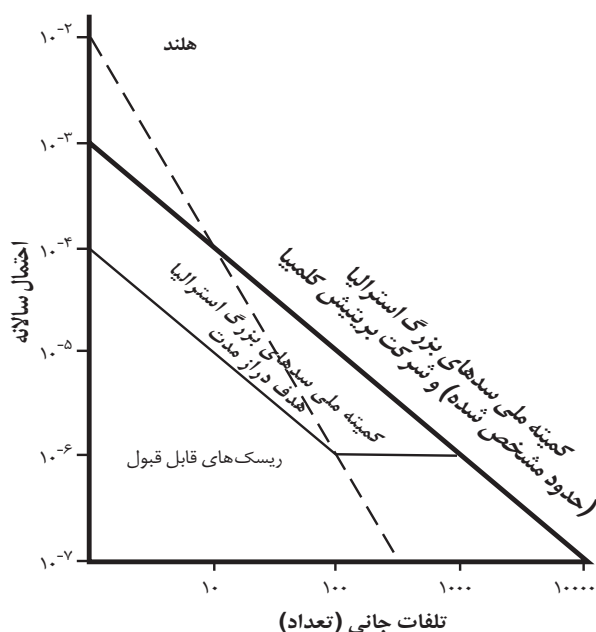
در این رابطه احتمال کشته شدن در اثر یک حادثه و β_i ضریبی مربوط به سیاست گذاری است که معرف درجه انتخابی بودن فعالیت i است. در موردی که آزادی کامل برای انتخاب وجود داشته باشد مقدار این ضریب ۱۰۰ است و در مواردی که فرد در معرض خطر قرار می گیرد بدون آنکه هیچ منفعت مستقیمی از فعالیت ببرد مقدار آن ۰/۱ می شود. طیف مقادیر این ضریب در جدول شماره ۲، آمده است. با توجه به این جدول مقدار β_i در مورد سیل بندها بین ۰/۱ تا ۱ در نظر گرفته شده است. میزان پرهیز از ریسک طبق معیار

$$E(N_{di}) + k\sigma(N_{di}) < \beta_i \times 100$$

سنجیده می شود که $E(N_{di})$ و $\sigma(N_{di})$ به ترتیب امید ریاضی و انحراف از معیار تعداد کل مرگ و میر است و k ضریب پرهیز از ریسک است که در اینجا برابر ۳ است. همچنین روابطی برای ایجاد ارتباط بین این ضوابط و نمودارهای F/N پیشنهاد شده است. در آفریقای جنوبی نمودارهای F/N در پنج دسته ارائه می شوند: "خسارات مالی"،



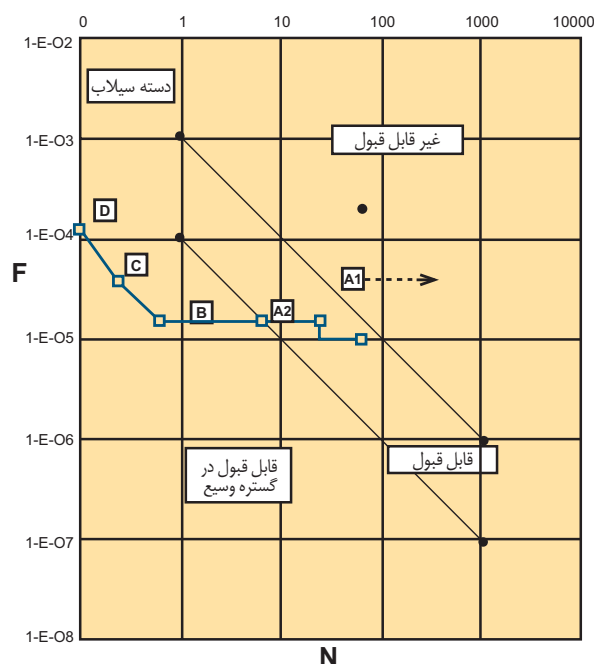
نمودار شماره ۶: نمودار F/N برای سدهای انگلیس در مناطق نزدیک سد بدون برنامه شرایط اضطراری



نمودار شماره ۸: ریسک قابل قبول برای ارزیابی ریسک سدهای استرالیا

یک در یک میلیون باید تقلیل یابد. ثانیاً عرصه تصمیم‌گیری درباره خطریپذیری و ایمنی سدها را می‌توان به سه ناحیه پی‌درپی و پیوسته تقسیم و تفکیک کرد که عبارت‌اند از "ناحیه خطریپذیری غیرمجاز"، "ناحیه بینابین" و "ناحیه خطریپذیری مجاز". خط‌های بالایی و پایینی ناحیه بینابین در واقع دامنه مشخصی از ارقام را برای هر تعداد مشخص از تلفات بالقوه شکست سد به دست می‌دهند. نمودار شماره ۸، ریسک قابل قبول برای ارزیابی ریسک سدهای استرالیا را نشان می‌دهد. با توجه و دقت در این شکل روشن می‌شود که دامنه ارقامی که در ناحیه بینابین می‌گنجد (و معرف حداقل خطریپذیری (تحمیلی) قابل قبول و حداقل خطریپذیری مطلوب و مجاز هستند) با یک ضریب یک‌صدم از یکدیگر جدا و متمایز می‌شوند. نکته دیگری که حائز اهمیت است آنکه خط فوقانی در این نمودار عملاً بیشترین حد خطریپذیری برای سدها تلقی شده است، در حالی که خط پایینی، هدفی را نشان می‌دهد که باید برای دستیابی به آن تلاش کرد. بدین ترتیب عملاً حدود مرز معینی برای افزایش ایمنی سدهایی که نیاز به عملیات اصلاحی دارند نیز معلوم و مشخص شده است. در رابطه با تلفات جانی ناشی از شکست سد باید یادآوری نمود که بر اساس تحقیقات انجام شده در صورتی که زمان پیش‌هشدار بیش از ۶ ساعت باشد، تعداد تلفات جانی به نحو بسیار چشمگیری کاهش می‌یابد.

نمودارهای به دست آمده چکیده‌ای از دستاوردهای تحقیقاتی رشته‌های مختلف صنایع و مهندسی است که برای توضیح و برقراری ارتباط میان خطرپذیری فعالیت‌های مهندسی و مخاطرات موجود زندگی روزمره دنبال شده است. مهندسی شیمی و پتروشیمی، صنایع هسته‌ای، صنعت ترابری و حمل‌ونقل، مهندسی زلزله از جمله رشته‌ها و صنایعی



نمودار شماره ۷: نمودار F/N برای سدهای انگلیس در مناطق دور از سد

مطرح خواهد بود. باید توجه داشت که منظور از سانحه مرگبار، سانحه‌ای است که ابعاد آن از حد چند کشته و مجروح فراتر رفته حداقل باعث مرگ ۱۰ نفر شود. بدین ترتیب مسأله ارزیابی ایمنی هر واحد خطرزا برای دامنه‌ای از انواع سوانحی که هر یک ابعاد معینی داشته و تعداد تلفات مترتب بر آنها نیز متفاوت است، مطرح خواهد بود. نمودار شماره ۶ این موضوع را به روشنی بیان می‌کند.

در این نمودار علاوه بر دو حد بالا و پایین، نمودار خطرپذیری آن برای سوانح عمده به ویژه سوانح با تلفات ۱۰ نفر یا بیشتر، خارج از ضوابط و فراتر از حد قابل قبول است و بنابراین صرف هزینه برای ایمن‌سازی و کاهش سطح خطرات آن به حدود مجاز الزامی محسوب می‌شود. باید توجه داشت که با ترسیم دو خط یادشده که حد بالا و پایین خطریپذیری را نشان می‌دهند در واقع سه ناحیه مشخص در روی صفحه مختصات معرفی می‌شوند که عبارت‌اند از ناحیه خطرات شدید، ناحیه بینابین و ناحیه خطریپذیری مطلوب و مجاز. حد بالا و پایین ناحیه بینابین عملاً مرز دو ناحیه غیرقابل قبول و مجاز خطریپذیری را نیز مشخص می‌کند.

کمیته ملی سدهای بزرگ استرالیا دستورالعمل ارزیابی ریسک را به صورت یک نشریه راهنما منتشر کرده است. مفاهیمی که برای گزینش سطح ایمنی مناسب برای سدها مورد توجه کارشناسان استرالیایی قرار گرفته به این صورت است که اولاً با افزایش شدت و ابعاد پیامدهای منفی و زیان‌بار شکست سد به‌ویژه شمار تلفات، میزان خطریپذیری مجاز باید متناسباً کاهش یابد. مثلاً اگر خطر وقوع تلفات جانی با احتمال یک‌هزارم را می‌پذیریم، با افزایش تعداد قربانیان بالقوه از یک به ده و ۵۰ نفر، میزان خطریپذیری مجاز نیز به مثلاً یک در ده هزار و

بوده‌اند که در این بررسی‌ها مشارکت داشته‌اند و هدف یافتن روش یا روش‌هایی برای تعیین سطح مجاز خطرپذیری را دنبال کرده‌اند.

خطرپذیری و افکار عمومی

پذیرش خطر و ریسک خود موضوع پیچیده و قابل تأملی است که تابع مقتضیات و محدودیت‌های جامعه، منابع مالی، دانش فنی، فرهنگ عمومی مردم، رویدادهای تلخ‌وشیرین تاریخی کشور، سلامتی و بهداشت عمومی و ده‌ها عوامل مهم دیگر است؛ به همین دلیل در برخی جوامع مردم ریسک‌پذیر و در برخی دیگر مردم محافظه‌کار هستند و برخوردی که مثلاً مردم کشورهای فقیری چون آفریقای جنوبی با ریسک دارند، کاملاً متفاوت با برخورد کشورهای توسعه‌یافته‌ای چون آلمان است. در دیدگاه سنتی ایمنی سدها، این موارد نمی‌تواند لحاظ شود؛ اما در دیدگاه مدیریت ریسک با استفاده از تحلیل ریسک با تعریف ریسک قابل قبول اجتماعی و ریسک حداقل یا باقیمانده (ریسکی که به لحاظ فنی غیرقابل کاهش بوده و یا کاهش بیشتر آن مستلزم صرف هزینه‌های بسیار بالاست.) توجه عمیقی به موارد ذکر شده جلب گشته که در اقتصادی نمودن و واقع‌بینانه کردن مسأله ایمنی طرح‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت.

برخی از محققان موضوع افکار عمومی جامعه درباره ایمنی و خطرپذیری مجاز در امور و فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی را به صورت‌های دیگر بررسی کرده‌اند و گاهی اوقات نیز این دیدگاه‌ها را با اعداد و ارقام ارائه و بیان نموده‌اند. مثلاً بررسی‌هایی که توسط رییس کمیته ایمنی سدها (وابسته به کمیسیون جهانی سدهای بزرگ) درباره آستانه خطرپذیری و واکنش مردم در برابر این سطوح و معیارهای مختلف خطرات انجام پذیرفته، جالب توجه است. او در این بررسی‌ها که متکی بر اطلاعات و آمار در کشورهای صنعتی غربی است، با بیان این عبارات مطلب را آغاز می‌کند که: «انسان ناگزیر است بر اثر بیماری و ابتلا به امراض با مرگ مواجه شود. میزان این خطر یا ریسک برای مردمی که در جوامع صنعتی زندگی می‌کنند به طور متوسط برابر با یک درصد در سال برای هر نفر (ده نفر در هر هزار نفر در سال) است. از سوی دیگر کمترین و کوچک‌ترین ریسک یا خطر غیرداوطلبانه که مردم آن را می‌پذیرند، خطر مرگ در اثر بعضی رخدادهای طبیعی نظیر مرگ بر اثر رعدوبرق و صاعقه است. مقدار این ریسک (خطر) در جوامع

غربی معادل یک در میلیون در سال برای هر نفر است. بین این دو حد بالا و پایین (یک درصد و یک در میلیون برای هر نفر در سال) که هر دو خطراتی مرگبار، غیرداوطلبانه و گریزناپذیرند که بر زندگی انسان‌ها تحمیل می‌شوند، واکنش مردم در برابر خطر اولاً متناسب با سطح یا میزان خطر و ثانیاً بسته به میزان داوطلبانه بودن یا امکان تصمیم‌گیری و اجتناب از مواجهه با خطر، متفاوت است.» وی سپس نمونه‌هایی از واکنش مردم کشورهای غربی درباره سطوح مختلف خطرات مرگبار را به شرح زیر خلاصه می‌کند:

■ **خطر یک در هزار در هر سال برای هر نفر (ریسک غیرقابل قبول):** بلافاصله برای کاهش خطر اقدام، و یا آن فعالیت را که تا این درجه خطرناک است متوقف می‌کنند.

■ **خطر یک در ده‌هزار در هر سال برای هر نفر:** تمایل و رغبت اندکی به اقدام و واکنش فوری وجود دارد، اما جامعه آمادگی آن را دارد که مبالغ قابل توجهی را برای کاهش این درجه از خطر هزینه کند. (برای مثال جهت کاهش ریسک و خطرات مرتبط با سوانح رانندگی و آتش‌سوزی و امثال آنها)

■ **خطر یک در صد‌هزار در هر سال برای هر نفر (احتمال وقوع = 10^{-5}):** مسؤولان حکومتی به مردم هشدار می‌دهند، والدین وجود خطر را به کودکان خود گوشزد می‌کنند.

■ **خطر یک در میلیون در هر سال برای هر نفر:** شخص احساس نمی‌کند که خطر مرگ او را تهدید می‌کند و یا آشکارا نشان می‌دهد که این حد خطر را می‌پذیرد.

آنچه در بالا ارائه شد نتیجه نظرسنجی و اخذ نظرات مردم در چند کشور غربی درباره خطرهای مرگبار غیرداوطلبانه بوده است. خطرپذیری داوطلبانه، یعنی آن سطح و میزانی از خطر که یک فرد آزادانه و از روی اراده و اختیار و بدون هرگونه اجبار و اکراه آن را می‌پذیرد، هزار مرتبه بیشتر از خطرهای اتفاقی و غیرداوطلبانه گزارش شده است. در یک تقسیم‌بندی دیگر ریسک تلفات جانی را می‌توان در سه گروه طبقه‌بندی نمود:

▶ ریسک‌های همیشگی و غیرقابل اجتناب؛ مانند رعدوبرق

▶ ریسک‌هایی که به صورت نظری قابل اجتناب



نمودار شماره ۹: عوامل مؤثر در پذیرش ریسک

هستند، اما در عمل جزء لاینفک اجتماع اند؛ مانند ریسک تصادفات رانندگی

ریسک‌های قابل اجتناب که مردم خود را به منظور به دست آوردن یک منفعت در معرض آن قرار می‌دهند؛ مانند شنا.

جدول شماره ۳، محدوده ریسک قابل تحمل برای کشورهای مختلف را نشان می‌دهد. نکات زیر از این جدول به دست می‌آیند:
۱- محدوده‌های احتمالات سالانه برای ریسک قابل تحمل فاصله مرتبه سه دارند.

۲- در نظر گرفتن حد بالا برای تلفات محتمل شیوه مناسبی برای مدیریت و ارزیابی ریسک است. این حد از ۲۰ تا ۱۰۰۰ نفر می‌رسد.
۳- کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ استرالیا برای احتمال وقوع حوادث، حد پایین 10^{-6} و 10^{-7} را در نظر گرفته است، با این توجیه که برآورد اطلاعات تا این حد کم ناممکن است.

مراحل تحلیل و برآورد ریسک

سابقه کاربرد تحلیل ریسک در صنایع هوایی، هسته‌ای، شیمیایی و دریایی به اواسط قرن گذشته و در سدسازی به اوایل دهه ۸۰ میلادی برمی‌گردد. علاوه بر این در طراحی خطوط لوله، سکوهای ساحلی، سیستم‌های هیدرولوژیکی، روپاها و سیستم‌های کامپیوتری نیز از تحلیل ریسک استفاده شده است.

دو روش عمده و معمول در برآورد احتمال وقوع حوادث شامل "شبیه‌سازی مونت کارلو" و "درخت حوادث Event Tree" است که در

ادامه به خلاصه‌ای از این روش‌ها اشاره می‌گردد:

شبیه‌سازی مونت کارلو

در روش مونت کارلو هدف یافتن توزیع آماری هر متغیر تصادفی است، متغیر تصادفی مورد بحث "متغیر پاسخ" نامیده می‌شود. متغیر پاسخ تابعی از یک یا چند متغیر تصادفی شناخته شده است. به منظور ارائه برآوردی برای توزیع آماری متغیر پاسخ، مقادیری برای همه متغیرهای تصادفی ورودی تولید می‌شود و مقدار نظیر از متغیر پاسخ بر اساس آن محاسبه می‌شود، این طرز نمونه‌گیری آن قدر تکرار می‌شود تا برآوردی از توزیع آماری متغیر تصادفی ایجاد شود. در بحث تحلیل ریسک شکست سد را می‌توان به عنوان متغیر پاسخ و هریک از عواملی را که منجر به آن شکست می‌شوند به عنوان متغیرهای تصادفی ورودی در نظر گرفت.

در این صورت ابتدا با توجه به اطلاعات آماری، قضاوت مهندسی و مطالعات تحلیلی، برآوردهایی از توزیع‌های آماری هریک از ورودی‌ها به دست می‌آید و سپس به روش مونت کارلو توزیع آماری یا مشخصه‌های آماری شکست سد برآورد می‌شود.

درخت حوادث

درخت حوادث یک شیوه گرافیکی است که از ترسیم روابط منطقی بین سیستم‌های ایمنی و دیگر سیستم‌های موجود حاصل می‌شود. این درخت با تعریف یک حادثه اولیه شروع می‌شود. در جواب حادثه اولیه سیستم ایمنی و هر یک از اجزای سیستم وظایفی دارند که در

جدول شماره ۳: محدوده ریسک قابل تحمل برای کشورهای مختلف

مأخذ	احتمال مجاز (حد بالا)	احتمال مجاز (حد پایین)	حد بالای تلفات جانی احتمالی (نفر)	ملاحظات
حمل و نقل مواد خطرناک در انگلیس (۱۹۹۱)	10^{-4}	10^{-7}		
سازمان آب بریتیش کلمبیا (BC Hydro)	10^{-3}	10^{-6}		(ریسک شخصی) 10^{-4}
کمیته سدهای بزرگ نروژ (NNCOLD)	10^{-3}	10^{-6}		(ریسک شخصی) 10^{-4}
کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ استرالیا	10^{-3} (10^{-4})	10^{-7} (10^{-6})	۱۰۰۰	سدهای جدید، حد پایین را باید رعایت کنند. منحنی بالا در احتمال 10^{-6} و منحنی پایین در احتمال 10^{-7} قطع می‌شود.
آلمان ۲۰۰۱	10^{-3}	10^{-6}	۲۰	برای احتمال تلفات بیش از ۲۰ نفر ریسک قابل تحمل است. اما قابل قبول نیست و برنامه شرایط اضطراری لازم است. منطقه قابل تحمل برای حد پایین ۲۰ نفر است.
سازمان عمران ایالات متحده (USBR)	10^{-3} (10^{-4})	10^{-7} (10^{-6})	۲۰۰	جمعیت در خطر بیشتر از تلفات محتمل به کار می‌رود
هنگ کنگ (۱۹۹۳)	10^{-3} (10^{-5})	10^{-6} (10^{-8})	۱۰۰۰	
هلند (۱۹۸۰)	10^{-3} (10^{-5})	10^{-9} (10^{-11})		

انجام آن به صورت حدی یا موفق هستند یا ناموفق. از ترتیب و ترکیب عملکردهای مختلف این سیستم‌ها یک مسیر درخت حوادث برای یک حادثه اولیه به دست می‌آید.

در درخت حوادث احتمال هر رویداد نوشته شده و احتمال یک حادثه از ضرب کل احتمال وقایع آن مسیر به دست می‌آید. در نهایت با لحاظ هزینه یا خسارت هر مسیر ریسک انتخاب یک گزینه به دست می‌آید.

برای به دست آوردن احتمال هر مسیر باید احتمال تک تک حوادث مسیر را مشخص کرد و با کمک تئوری احتمالات، احتمال واقعه انتهایی مسیر را به دست آورد. این کار با استفاده از تئوری Bayes به دست می‌آید. در این تئوری احتمال وقوع هر رویداد از احتمال شرطی سایر رویدادهای رخ داده قبل از آن به دست می‌آید.

مطالعه تحلیل ریسک روند سیلاب ۱۰۰۰ ساله در مخزن سد کرخه

در نخستین کاربرد سیستماتیک تحلیل ریسک در سدهای ایران، روند سیلاب ۱۰۰۰ ساله در مخزن سد کرخه و اثر آن در سیلاب طراحی سد تنظیمی پای پل در سال ۱۳۸۴ مورد مطالعه قرار گرفت. در طرح اولیه مهندس مشاور سد تنظیمی پای پل فرض شده بود که کرخه در کاهش پیک سیلاب ۱۰۰۰ ساله (حدود ۱۲ هزار مترمکعب بر ثانیه) اثر زیادی ندارد. بر اساس نتایج مطالعات تحلیل ریسک انجام شده احتمال وقوع سیلاب‌های خروجی بزرگ‌تر از ۶ هزار مترمکعب بر ثانیه و سیلاب‌های خروجی کوچک‌تر از ۳ هزار مترمکعب بر ثانیه در جریان سیلاب ۱۰۰۰ ساله

بسیار ناچیز است؛ بنابراین سد مخزنی کرخه موجب کاهش پیک سیلاب ۱۰۰۰ ساله به میزان ۵۰ تا ۷۵ درصد خواهد شد.

از نتایج دیگر تحلیل ریسک می‌توان به احتمال بسیار ناچیز 10^{-9} در سال برای تخریب سد در جریان سیلاب ۱۰۰۰ ساله اشاره نمود. ایمنی سد تنها زمانی که هر ۶ دریچه قابل بهره‌برداری نباشد مورد تهدید قرار می‌گیرد. در واقعیت احتمال عمل نکردن هر ۶ دریچه با توجه به تجارب دریچه‌های مدرن سرریزها بسیار کمتر از میزانی است که در این گزارش در نظر گرفته شده است.

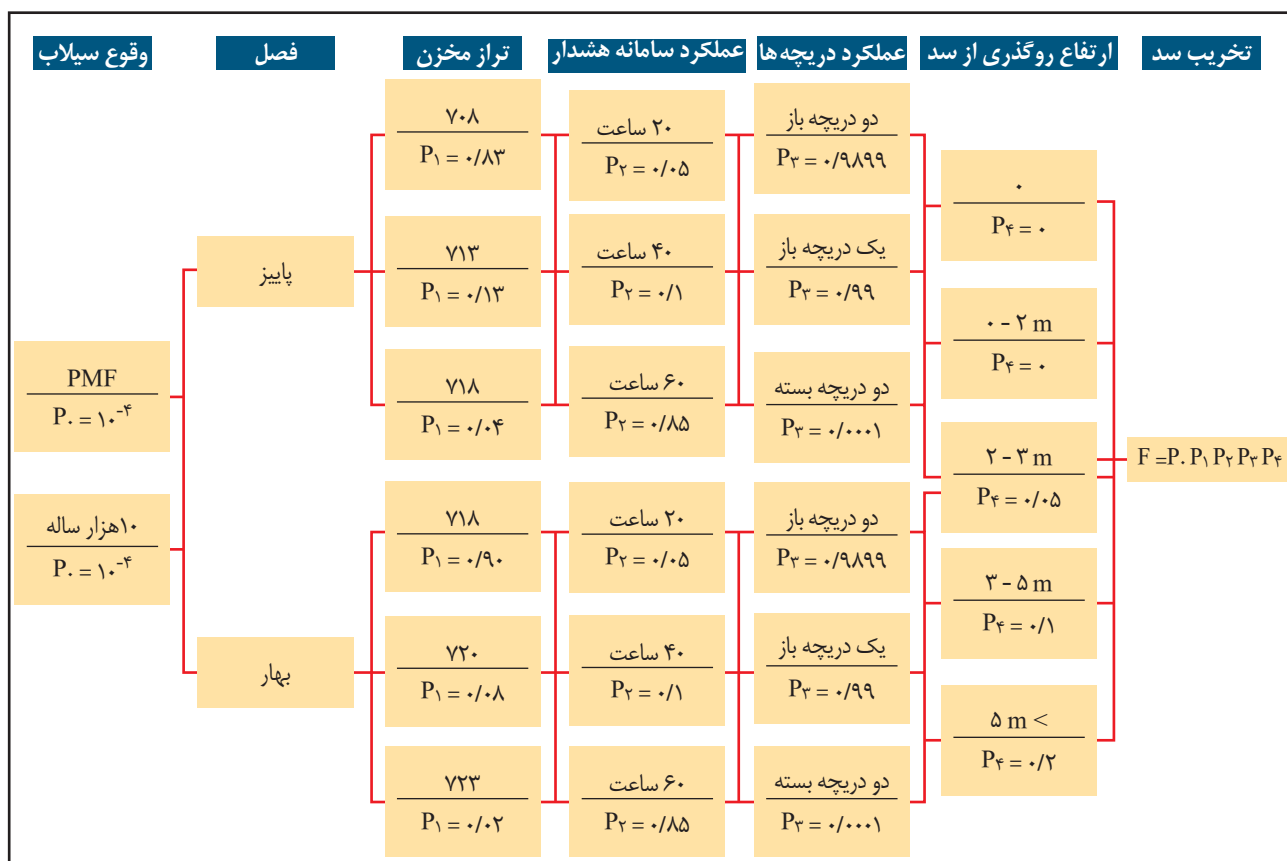
از مهم‌ترین نتایج مطالعات تحلیل ریسک انجام شده، برآورد اثرات روش‌های غیرسازه‌ای کاهش ریسک (سیستم‌های هشدار سیلاب و مدل‌های پیش‌بینی درازمدت، و...) است. برای مثال این روش‌ها موجب می‌شود که احتمال خروجی کمتر از ۴۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه از ۵۰ به ۹۰ درصد افزایش یابد. در این راستا مقایسه منافع و هزینه‌های روش‌های

غیرسازه‌ای ممکن می‌شود و بر اساس تجارب جهانی در بیشتر موارد نسبت سود به هزینه این روش‌ها بسیار قابل ملاحظه خواهد بود؛ بنابراین کاربرد تحلیل ریسک که خود یک روش غیرسازه‌ای کاهش ریسک محسوب می‌شود، می‌تواند زمینه‌ساز به کارگیری دیگر روش‌های غیرسازه‌ای کاهش ریسک سدها شود.

تراز اولیه ۲۱۰		احتمال	تراز - دبی
عدم قطعیت ۳۰٪	زمان پیش‌هشدار ۲ روز	۰/۰۰۰۰۰۶	۳۵۰۰ - ۲۲۱/۲
		۰/۰۰۰۰۱۵	۳۵۰۰ - ۲۲۱
		۰/۰۰۰۰۱۵	۳۵۰۰ - ۲۲۱/۲
		۰/۰۰۰۰۰۰۱۵	۳۵۰۰ - ۲۲۱/۶
		۰/۰۰۰۰۰۰۰۳	۳۵۰۰ - ۲۲۲/۳
		۴/۵ E-۱۱	۲۶۰۰ - ۲۲۴/۵
		۳ E-۱۳	۴۵۰ - ۲۳۰/۷
	زمان پیش‌هشدار ۳ روز	۰/۰۰۰۰۰۶	۳۵۰۰ - ۲۲۱/۱
		۰/۰۰۰۰۱۵	۳۵۰۰ - ۲۲۱/۲
		۰/۰۰۰۰۱۵	۳۵۰۰ - ۲۲۱/۵
		۰/۰۰۰۰۰۰۱۵	۳۴۸۰ - ۲۲۱/۹
		۰/۰۰۰۰۰۰۰۳	۳۵۰۰ - ۲۲۲/۳
		۴/۵ E-۱۱	۲۶۰۰ - ۲۲۴/۵
		۳ E-۱۳	۴۵۰ - ۲۳۰/۷
عدم قطعیت ۵۰٪	زمان پیش‌هشدار ۲ روز	۰/۰۰۰۰۰۶	۴۵۰۰ - ۲۲۰/۴
		۰/۰۰۰۰۱۵	۴۵۰۰ - ۲۲۰/۵
		۰/۰۰۰۰۱۵	۴۴۲۰ - ۲۲۰/۵
		۰/۰۰۰۰۰۰۱۵	۴۱۷۰ - ۲۲۰/۹
		۰/۰۰۰۰۰۰۰۳	۳۶۵۰ - ۲۲۲/۴
		۴/۵ E-۱۱	۲۶۰۰ - ۲۲۴/۹
		۳ E-۱۳	۴۵۰ - ۲۳۰/۷
	زمان پیش‌هشدار ۳ روز	۰/۰۰۰۰۰۶	۴۳۰۰ - ۲۲۰/۵
		۰/۰۰۰۰۱۵	۴۲۸۰ - ۲۲۰/۸
		۰/۰۰۰۰۱۵	۴۳۹۰ - ۲۲۰/۸
		۰/۰۰۰۰۰۰۱۵	۴۲۵۰ - ۲۲۰/۸
		۰/۰۰۰۰۰۰۰۳	۳۶۷۰ - ۲۲۲/۲
		۴/۵ E-۱۱	۲۶۰۰ - ۲۲۴/۹
		۳ E-۱۳	۴۵۰ - ۲۳۰/۷

نمودار شماره ۱۰: نتایج درخت حوادث سیلاب ۱۰۰۰ ساله سد کرخه با فرض تراز اولیه ۲۱۰ در شرایط بهره‌برداری ایده‌آل





نمودار شماره ۱۱: درخت وقایع برای تحلیل ایمنی هیدرولوژیکی یک سد بتنی قوسی

جدول شماره ۴: بخشی از نتایج تحلیل ریسک با روش درخت وقایع برای ارزیابی ایمنی هیدرولوژیکی یک سد بتنی قوسی

ردیف	سیلاب	فصل	تراز مخزن	زمان پیش هشدار	تراز اولیه	عملکرد دریچه ها	ارتفاع روگذری (متر)	احتمال تخریب سد (در ۱۰۰ میلیون سال)
۱	PMF	پاییز	۷۱۸	۶۰ ساعت	۷۱۶/۶۹	هر دو باز	۱/۱۵	۰
۲	PMF	پاییز	۷۱۸	۲۰ ساعت	۷۱۷/۵۶	هر دو باز	۱/۳۷	۰
۳	PMF	پاییز	۷۱۸	۴۰ ساعت	۷۱۷/۱۹	هر دو باز	۱/۲۶	۰
۴	PMF	بهار	۷۲۰	۲۰ ساعت	۷۱۹/۵۸	هر دو باز	۱/۸۷	۰
۵	PMF	بهار	۷۲۰	۴۰ ساعت	۷۱۹/۱۶	هر دو باز	۱/۷۸	۰
۶	PMF	بهار	۷۲۰	۶۰ ساعت	۷۱۸/۷۴	هر دو باز	۱/۶۸	۰
۷	PMF	بهار	۷۲۳	۲۰ ساعت	۷۲۲/۶۰	هر دو باز	۲/۵۸	۰/۱۹۸
۸	PMF	بهار	۷۲۳	۴۰ ساعت	۷۲۲/۲۰	هر دو باز	۲/۴۶	۰/۳۹۶
۹	PMF	بهار	۷۲۳	۶۰ ساعت	۷۲۱/۸۰	هر دو باز	۲/۳۷	۰/۳۳۷
۱۰	PMF	پاییز	۷۰۸	۲۰ ساعت	۷۰۷/۴۴	یکی باز	۳/۴۱	۴/۱۱
۱۱	PMF	پاییز	۷۰۸	۴۰ ساعت	۷۰۶/۸۸	یکی باز	۳/۳۲	۸/۲۲
۱۲	PMF	پاییز	۷۰۸	۶۰ ساعت	۷۰۶/۳۲	یکی باز	۳/۲۲	۶۹/۸
۱۳	PMF	پاییز	۷۱۳	۲۰ ساعت	۷۱۲/۵۳	یکی باز	۴/۳۵	۰/۶۴۴
۱۴	PMF	پاییز	۷۱۳	۴۰ ساعت	۷۱۲/۰۶	یکی باز	۴/۲۶	۱/۲۹
۱۵	PMF	پاییز	۷۱۳	۶۰ ساعت	۷۱۱/۵۷	یکی باز	۴/۱۸	۱۰/۹
۱۶	PMF	پاییز	۷۱۸	۲۰ ساعت	۷۱۷/۵۶	یکی باز	۵<	۰/۳۹۶
۱۷	PMF	پاییز	۷۱۸	۴۰ ساعت	۷۱۷/۱۳	یکی باز	۵<	۰/۷۹۲
۱۸	PMF	پاییز	۷۱۸	۶۰ ساعت	۷۱۶/۶۹	یکی باز	۵<	۶/۳
۱۹	PMF	بهار	۷۲۰	۲۰ ساعت	۷۱۹/۵۸	یکی باز	۵<	۸/۹۱
۲۰	PMF	بهار	۷۲۰	۴۰ ساعت	۷۱۹/۱۶	یکی باز	۵<	۱۷/۸
۲۱	PMF	بهار	۷۲۰	۶۰ ساعت	۷۱۸/۷۴	یکی باز	۵<	۱۵۱
۲۲	PMF	بهار	۷۲۳	۲۰ ساعت	۷۲۲/۶۰	یکی باز	۵<	۱/۵۸
۲۳	PMF	بهار	۷۲۳	۴۰ ساعت	۷۲۲/۲۰	یکی باز	۵<	۱۳/۵
۲۴	PMF	بهار	۷۲۳	۶۰ ساعت	۷۲۱/۸۰	یکی باز	۵<	۰/۱۹۸

فجایع مرگبار شیمیایی

فاجعه "بوپال" در اثر نشت گاز سمی دفع آفات "متیل ایزوسیانات" در کارخانه آمریکایی "یونیون کارباید" در شهر "بوپال" هند رخ داد. در این واقعه که یکی از بزرگ‌ترین حوادث صنعتی در تاریخ جهان به‌شمار می‌رود، حدود ۳ هزار و ۵۰۰ نفر از کارکنان کارخانه جان خود را از دست دادند و همچنین حدود ۱۶ هزار نفر طی چند ماه بر اثر این فاجعه جان باختند. بر اساس آمار شمار کل آسیب‌دیدگان این فاجعه، رقمی حدود ۶۰۰ هزار نفر برآورد شده است. به گفته زیست‌شناسان محلی، با گذشت بیش از ۴۰ سال، هنوز زمین و شرایط آب‌وهوایی این منطقه مسموم بوده و شمار قربانی‌ها همچنان روبه‌افزایش است.

بلافاصله پس از رویداد فاجعه بوپال در کشور هندوستان، اکثر کشورها فرایندهای تولید صنعتی، حمل‌ونقل و کاربرد ماده شیمیایی و بسیار سمی «متیل ایزو سیانیت» را که انتشار آن منشأ بروز فاجعه بود، بازنگری کردند. مثلاً در فرانسه کارخانه‌ای در نزدیکی



قربانیان فاجعه شیمیایی بوپال در هندوستان - سال ۱۹۸۴

"به‌زیه" وجود داشت که این ماده شیمیایی خطرناک را از بندر "مارسی" وارد می‌کرد. اگرچه در این کارخانه کنترل ریسک در سطح تقریباً مطلوبی قرار داشت؛ اما در جایی از سیستم فنی، یعنی اسکله مارسی، اوضاع به‌گونه‌ای دیگر بود و به نظر می‌رسید که تغییر و تطبیق بخشی از سیستم ریسک فناوری، مطابق با هنجارهای محلی و دیگر واقعیت‌ها به شکل دیگری روی می‌داد. تخلیه بار در اسکله مارسی به‌شدت غیرایمن بود چرا که مطابق با دستورالعمل‌های موجود بهره‌وری، بشکه‌ها با حداکثر سرعت تخلیه و جابه‌جا می‌شدند. گویا برای اپراتورهای جرثقیل فرقی نمی‌کرد که این بشکه‌ها حاوی

جدول شماره ۵: نمونه‌هایی از حوادث جهانی

ردیف	محل وقوع حادثه	ماده درگیر	سال وقوع	تعداد کشته شدگان
۱	آلمان، Nudwigshafen	اتیل اثر	۱۹۸۴	۲۰۹
۲	هلند، Pernis	مواد نفتی	۱۹۶۸	۸۵
۳	انگلستان، Flixbrorough	سیکلوهگزان	۱۹۷۴	۱۰۴
۴	ایالات متحده، Pasadena, Tx	ایزوبوتان	۱۹۸۹	۱۰۳
۵	اسپانیا، San Carlos	پروپیلن	۱۹۷۸	۲۱۱
۶	مکزیک، Mexico city	پروپان	۱۹۸۴	۵۰۰

روغن هستند یا مواد سمی بسیار خطرناک. هنجارهای عملیاتی محلی آنها، هنجارهای لازم مبنی بر جابه‌جایی با دقت فراوان را آشکارا نقض می‌کرد. در اینجا نیز رفتار زیرسیستم را نمی‌شد به‌صورت کلان تعیین کرد.

واقعیت این است که چنین مثال‌هایی استثنا نبوده، بلکه رایج هستند؛ به عبارت دیگر، کارشناسان فنی و اپراتورها همیشه به درجات مختلف در چنین موقعیت‌هایی قرار دارند. این تضاد ذاتی به این معنی است که برخلاف تصویر «رسمی» که در ذهن مردم از سیستم فنی ایجاد می‌شود. سطوح کنترل و کنترل‌پذیری اساساً متفاوت و پایین‌تری در عمل وجود دارد. در چنین وضعیت مبهمی تمایز بین اقدامات و شرایط ایمن و غیرایمن بسیار دشوار است و تعریف مسئولیت‌پذیری یا اهمال کاری افرادی که مدیریت سیستم فنی را بر عهده دارند حتی دشوارتر نیز می‌شود.

ریسک وقایع فاجعه‌بار شیمیایی

از یک سو، استفاده از برخی مواد شیمیایی منافع بی‌شماری در بر دارد و از سوی دیگر، همین مواد مشکلات اساسی و تهدیدات جدی بر بشر تحمیل نموده‌اند. ریسکی را که این نوع مواد بر جهانیان تحمیل می‌کنند می‌توان در دو دسته خرد و کلان گنجانند. ریسک‌هایی که سلامتی و اقتصاد تعداد محدودی از مردم را به خطر می‌اندازند و یا خسارات کوچک اقتصادی و زیست‌محیطی را تحمیل می‌نمایند در دسته ریسک‌های خرد قرار می‌گیرد؛ اما در دسته ریسک‌های کلان، حوادثی قرار می‌گیرد که علی‌رغم احتمال پایین وقوع، گستردگی تلفات جانی، اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از وقوع آنها می‌تواند بسیار قابل‌ملاحظه باشد. ریسک‌های کلان می‌تواند ناشی از نشت مواد قابل‌اشتعال و ترکیب آن با هوا و در پی آن تشکیل یک توده ابر قابل‌اشتعال باشد. این گونه خطرات می‌تواند در قالب انفجارهای سهمگین و آتش‌سوزی‌های وسیع منطقه گسترده‌ای را تحت‌الشعاع قرار دهد (خطرات ایمنی). برای مثال یک انفجار ناشی از گاز در یک مخزن ۵۰ تنی پروپان می‌تواند حداقل سبب آسیب و جراحات سوختگی درجه ۳ تا فواصل ۲۰۰ متری و ایجاد تاول شدید در فواصل ۴۰۰ متری گردد. در جدول شماره ۵، پیامدهای چندین حادثه در سطح جهان نشان داده شده است.



فاجعه انفجار بندر رجایی

در گزارش سازمان مدیریت و برنامه ریزی هرمزگان که در اواخر اردیبهشت ۱۴۰۴ منتشر گردید، گزارش اولیه‌ای در مورد فاجعه انفجار در بندر رجایی، خسارات وارد شده و مدیریت بحران ارائه شد. چکیده‌ای از این گزارش به دنبال می‌آید:

«در پی وقوع حادثه‌ای بسیار بزرگ در تاریخ ششم اردیبهشت ماه ۱۴۰۴، در محدوده انبارش کالاهای کانتینری واقع در بندر شهید رجایی و وقوع انفجارهای پیاپی و آتش‌سوزی گسترده، این گزارش با رویکردی تحلیلی تلاش نموده است ابعاد مختلف این رویداد را بررسی و از علل فنی و خطاهای انسانی مؤثر در وقوع حادثه، تا پیامدهای گسترده آن در زمینه‌های انسانی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ارائه نماید. بندر شهید رجایی، با مساحت بیش از ۲۴۰۰ هکتار، در چهار حوزه اصلی شامل ترمینال کانتینری، کالاهای عمومی، مواد فله و معدنی و مخازن نفتی فعالیت نموده و با داشتن سهمی بالغ بر ۸۱ درصد از کل عملیات تخلیه و بارگیری کانتینری و بیش از ۵۶ درصد از کل صادرات کشور، به عنوان حیاتی‌ترین بندر کشور در حمل و نقل کالا محسوب می‌گردد. عمده فعالیت تخلیه و بارگیری در بندر شهید رجایی توسط دو شرکت بندری سینا (وابسته به بنیاد مستضعفان) و بتا (بخش خصوصی) صورت می‌گیرد

که بالغ بر ۸۴ میلیون تن عملیات تخلیه و بارگیری توسط دو شرکت یاد شده در سال ۱۴۰۲ انجام شده است. بر اساس مشاهدات اولیه، در ساعت ۱۲ ظهر روز ۶ اردیبهشت ماه ۱۴۰۴ آتش‌سوزی از یکی از کانتینرها واقع در محوطه کانتینری شرکت سینا آغاز و با شعله‌ور شدن و ایجاد انفجار شدید، محدوده وسیعی از اسکله و مناطق اطراف را تحت تأثیر قرار داد و بر اثر موج انفجار شیشه‌های ساختمان‌ها و خودروها شکسته و لرزش‌هایی تا شعاع ۳۰ کیلومتری محل حادثه احساس گردید. پس از وقوع انفجار در اسکله بندر شهید رجایی، ستاد مدیریت بحران استان به ریاست استاندار هرمزگان به سرعت تشکیل و مجموعه‌ای از اقدامات اضطراری در سطوح ملی و استانی به مرحله اجرا درآمد. از مهم‌ترین دلایل وقوع حادثه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- فقدان ساختار استاندارد در تفکیک و انبارش کالاها در محوطه بندر
- نبود سامانه هوشمند در راستای ردیابی و نظارت بر محموله‌های پرخطر
- انباشت غیرمتعارف کالا، کانتینر و مواد فله و معدنی در محوطه بندری
- عدم رعایت ضوابط پدافند غیرعامل در مناطق حیاتی.
- عدم وجود ساختار نظام‌مند پیرامون اظهار، شناسایی و کنترل محموله‌های ترانزیتی پرخطر.

بر اساس گزارش‌های منتشر شده از منابع رسمی، در پی وقوع این حادثه، بیش از ۵۷ نفر جان خود را از دست داده و بیش از ۱۵۰۰ نفر دیگر دچار صدمه، جراحات و سوختگی‌های با درجه‌های مختلف شده‌اند. با جمع‌بندی برآوردهای صورت گرفته، هزینه کل جبران خسارات، بازسازی زیرساخت‌ها، حمایت از آسیب‌دیدگان و اجرای برنامه‌های اصلاحی در حدود ۱۶۰ هزار میلیارد ریال (۱۶ همت) خواهد بود. در این برآورد اجرای کامل برنامه پدافند غیرعامل (خرید تجهیزات پیشرفته اسکنر کانتینری، سیستم



رویدادی است که ماهیت یکسان و مشابهی با مرگ انفرادی افراد مختلف در سوانح گوناگون ندارد، یعنی دامنه و عمق واکنش عینی و ذهنی و روانی جامعه به این قبیل سوانح مرگبار گروهی تفاوت‌هایی با پیشامدهای تصادفی برای افراد منفرد دارد.

۵- با کاربرد تحلیل ریسک، مقایسه منافع و هزینه‌های روش‌های غیرسازهای ممکن می‌شود و بر اساس تجارب جهانی در بیشتر موارد نسبت سود به هزینه این روش‌ها بسیار قابل ملاحظه خواهد بود؛ بنابراین کاربرد تحلیل ریسک که خود یک روش غیرسازهای کاهش ریسک محسوب می‌شود، می‌تواند زمینه‌ساز به‌کارگیری دیگر روش‌های غیرسازهای کاهش ریسک شود. تحلیل‌های ریسک دو سد ایران در دهه ۱۳۸۰ این موضوع را به‌وضوح مورد تأیید قرار می‌دهند. در برخی موارد مانند شاتل‌های فضایی و سدهای بزرگ و سازه‌های عظیم دیگر، کاهش ریسک به ریسک قابل قبول اجتماعی با استفاده از "فقط روش‌های سازه‌ای" بسیار پرهزینه و غیرعملی خواهد بود.

۶- برای حادثه‌ای مانند انفجار در بندر رجایی با نزدیک به ۱۰۰ کشته و با توجه به این که این پروژه در حال بهره‌برداری است، مطابق استانداردهای جهانی حداکثر ریسک قابل قبول ۱ در ۱۰ هزار در هر سال است و با توجه به این که ابعاد سازه‌ای روش‌های کاهش ریسک در این بندر محدود است و بیشتر کاهش ریسک توسط روش‌های غیرسازه‌ای و مدیریتی (کم‌هزینه) انجام می‌شود، به نظر می‌رسد دستیابی به این ایمنی هم از نظر اقتصادی (جدای از ملاحظات تلفات انسانی) توجیه‌پذیر بوده و هم از نظر اجرایی کاملاً عملی بوده است. ♦

هشدار سریع، تجهیزات ویژه آتش‌نشانی، بهسازی انبارهای مواد خطرناک و احداث دیوارهای ضدانفجار، برگزاری آموزش‌ها و مانورهای ایمنی به‌طور منظم، تشکیل تیم‌های نظارتی و تدوین مقررات جدید ایمنی) به اعتباری بالغ بر ۷۵۰۰ میلیارد ریال و هزینه‌های پشتیبانی و انجام فعالیت‌های جانبی مرتبط در حدود ۵۰۰ میلیارد ریال نیاز دارد.» با توجه به برآوردهای گزارش سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی هرمزگان این فاجعه حتی اگر تلفات انسانی را به‌صورت مالی در نظر گرفته شود (که در کشورهای توسعه‌یافته از این امر به‌شدت اجتناب می‌شود)، تنها با هزینه کرد ۵ درصد از خسارات مالی این فاجعه امکان جلوگیری از وقوع آن وجود داشت. در رابطه با دلایل وقوع این حادثه که گزارش سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی هرمزگان، از ۵ دلیل ارائه شده ۴ مورد با فقدان، نبود، عدم رعایت و عدم وجود ذکر شده که این امر برای حیاتی‌ترین بندر کشور جای تأسف بسیار دارد و نشان از حساسیت کم به شایسته‌سالاری در پست‌های کلیدی دارد. در عین باید توجه داشت که افزایش ایمنی نیاز به هم‌افزایی بین سازمانی میان سازمان بنادر و دریانوردی، اداره گمرک و شرکت‌های پیمانکار (سینا، بنا و...) دارد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۱- تحلیل ریسک هر سیستم از ارکان اصلی مدیریت ریسک قبل از طراحی تا حین بهره‌برداری آن سیستم است و شامل مراحل شناسایی وقایعی که می‌توانند منجر به تخریب شوند، برآورد احتمالات وقایع مختلف، محاسبه احتمال تخریب، برآورد عواقب تخریب و محاسبه ریسک می‌شود. پس از برآورد ریسک باید با توجه به کلیه شرایط منطقه این ریسک با ریسک قابل قبول اجتماعی مقایسه شود و در صورت اختلاف بیش از حد مجاز با آن در جهت نزدیکی آن به ریسک قابل قبول اجتماعی اقدام کرد.

۲- تحلیل ریسک به‌عنوان تلفیقی از قضاوت مهندسی و علم، امکان ارزیابی هم‌سنگ شرایط نامطلوب را فراهم می‌کند. تحلیل ریسک امکان بررسی عمیق‌تر و همه‌جانبه‌تر ایمنی را ممکن می‌سازد و می‌تواند در گستره وسیعی تمامی عواملی که ایمنی را تهدید نموده و یا آن را بهبود می‌بخشند، شامل شود. در این چارچوب منحنی‌های F/N معیارهای خوبی از ریسک‌های قابل‌پذیرش اجتماعی در کشورهای توسعه‌یافته به دست می‌دهند.

۳- نزدیک به ۵۰ سال است که اداره عمران آمریکا تمام ارزیابی‌های ایمنی سدهای بزرگ (در حال بهره‌برداری) خود را با تحلیل ریسک انجام می‌دهد. این مهم توسط تیم‌های چندرشته‌ای در یک کارگاه چندروزه در محل سد و عموماً با استفاده از روش درخت حوادث صورت می‌گیرد.

۴- تلفات جمعی و گروهی تعداد نسبتاً زیاد و قابل‌توجهی از شهروندان هر جامعه،