



واحد صنعتی امیرکبیر

مدیریت ریسک
در پروژه‌های عمرانی

MANAGING RISK In Construction Projects



مدیریت ریسک در پروژه‌های عمرانی

تألیف: دکتر عبدالله اردشیر
(دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر)
حسن ملکه تبار

تألیف: دکتر عبدالله اردشیر
حسن ملکه تبار

Dr. Abdollah Ardeshir
Hassan Malekitabar

Distribution

Next to AmirKabir University, Hafez Avenue, Tehran

Tel: +98 21 66 95 0981

Fax: +98 21 66 95 0982

Publication of JIHAD AMIRKABIR University



واحد صنعتی امیرکبیر

فهرست مطالب

۱- ریسک و عدم قطعیت.....	۱۷
۱-۱- مقدمه.....	۱۷
۱-۲- مفهوم ریسک.....	۲۰
۱-۳- مفهوم عدم قطعیت.....	۲۲
۱-۴- تغییرپذیری طبیعی.....	۲۴
۱-۵- عدم قطعیت معطوف به شناخت.....	۲۶
۱-۶- مواجهه با عدم قطعیت.....	۲۹
۱-۷- ریسک و مدیریت پروژه‌های عمرانی.....	۳۰
۱-۸- آن چه در این کتاب خواهید خواند.....	۳۴
۲- تدوین چارچوب.....	۳۷
۲-۱- مقدمه.....	۳۷
۲-۲- اهداف و معیارها.....	۳۸
۲-۳- شناسایی و تحلیل ذی‌نفعان.....	۴۲
۲-۴- معیارها.....	۴۸
۲-۵- چارچوب در نگاهی خلاصه.....	۵۷

۵۹	۲-۶- اجزای اصلی	۵۹
۵۹	۲-۶-۱- تعریف و مفهوم اجزای اصلی	۵۹
۶۱	۲-۶-۲- استفاده از ساختار شکست کار (WBS) برای چینش اجزای اصلی	۶۱
۶۶	۲-۶-۳- شماره‌گذاری و تشریح اجزای اصلی	۶۶
۶۹	۳- شناسایی ریسک‌ها	۶۹
۶۹	۳-۱- مقدمه	۶۹
۷۵	۳-۲- روش‌ها و ابزارهای شناسایی ریسک‌ها	۷۵
۷۷	۳-۲-۱- طوفان فکری	۷۷
۸۲	۳-۲-۲- روش دلفی	۸۲
۸۴	۳-۲-۳- مصاحبه	۸۴
۸۴	۳-۲-۴- چک‌لیست‌ها	۸۴
۸۵	۳-۲-۵- بررسی اسناد پروژه	۸۵
۸۶	۳-۲-۶- تحلیل فرضیات	۸۶
۹۰	۳-۲-۷- تحلیل قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدها (SWOT)	۹۰
۹۱	۳-۲-۸- روش تحلیل درخت خطا (FTA)	۹۱
۹۹	۳-۲-۹- درخت اشتباه‌ها و ریسک‌های مدیریتی (MORT)	۹۹
۱۰۳	۳-۲-۱۰- روش درخت رویداد (ETA)	۱۰۳
۱۰۷	۳-۲-۱۱- روش تحلیل حالات و آثار شکست‌ها (FMEA)	۱۰۷
۱۰۹	۳-۲-۱۲- روش خطر و کارایی (HazOp)	۱۰۹
۱۱۴	۳-۲-۱۳- روش‌های ترکیبی	۱۱۴
۱۱۵	۳-۳- مستندسازی ریسک‌ها	۱۱۵
۱۱۶	۳-۴- مسئولیت ریسک‌ها	۱۱۶

۱۱۸	۳-۵- منابع اطلاعات	۱۱۸
۱۲۰	۳-۶- شرایط پروژه	۱۲۰
۱۲۱	۴- ارزیابی ریسک‌ها	۱۲۱
۱۲۱	۴-۱- مقدمه	۱۲۱
۱۲۳	۴-۲- تحلیل کیفی ریسک‌ها	۱۲۳
۱۲۳	۴-۲-۱- مقدمه	۱۲۳
۱۲۵	۴-۲-۲- پیامدهای ریسک‌ها	۱۲۵
۱۳۲	۴-۲-۳- احتمال ریسک‌ها	۱۳۲
۱۳۴	۴-۲-۴- اولویت‌های اولیه‌ی ریسک	۱۳۴
۱۳۴	۴-۲-۵- یادداشتی بر مقیاس‌ها و اصطلاحات	۱۳۴
۱۳۶	۴-۲-۶- سنجش ریسک	۱۳۶
۱۳۸	۴-۲-۷- ریسک‌های ذاتی	۱۳۸
۱۳۹	۴-۲-۸- جدول ثبت ریسک	۱۳۹
۱۳۹	۴-۳- تحلیل نیمه‌کمی ریسک‌ها	۱۳۹
۱۳۹	۴-۳-۱- مقدمه	۱۳۹
۱۴۱	۴-۳-۲- اجزای اصلی	۱۴۱
۱۴۲	۴-۳-۳- ارزیابی احتمال و پیامد	۱۴۲
۱۵۱	۴-۳-۴- اندازه‌ی عوامل بالابرنده‌ی ریسک در سیستم‌ها	۱۵۱
۱۵۳	۴-۳-۵- عدد اولویت ریسک	۱۵۳
۱۵۴	۴-۳-۶- روش متعارف	۱۵۴
۱۵۵	۴-۳-۷- روش اجتماع احتمال و پیامد	۱۵۵
۱۵۷	۴-۳-۸- مقایسه‌ای میان روش متعارف و روش اجتماع احتمال و پیامد	۱۵۷

۱۶۰	۴-۳-۹- روش FMEA برای محاسبه‌ی عدد اولویت ریسک	۱۶۰
۱۶۱	۴-۳-۱۰- ریسک‌های زیاد، متوسط و کم	۱۶۱
۱۶۳	۴-۳-۱۱- رویکردهای محافظه‌کارانه و واقع‌بینانه	۱۶۳
۱۶۵	۴-۴- تحلیل کمی ریسک‌ها	۱۶۵
۱۶۵	۴-۴-۱- مقدمه	۱۶۵
۱۶۶	۴-۴-۲- قوانین احتمالات	۱۶۶
۱۸۴	۴-۴-۳- تحلیل درخت خطا	۱۸۴
۱۹۷	۴-۴-۴- روش برشماری حالت‌های سیستم	۱۹۷
۲۰۰	۴-۴-۵- تحلیل مجموعه‌ی گسست	۲۰۰
۲۰۵	۴-۴-۶- تحلیل مجموعه‌ی پیوند	۲۰۵
۲۱۱	۴-۴-۷- تحلیل مارکوف (MA)	۲۱۱
۲۱۵	۴-۴-۸- مقایسه‌ی تحلیل مارکوف با درخت خطا	۲۱۵
۲۲۲	۴-۴-۹- چرخه‌ی مارکوف	۲۲۲
۲۲۴	۴-۴-۱۰- شبیه‌سازی مونته‌کارلو	۲۲۴
۲۴۴	۴-۴-۱۱- تحلیل ریسک لرزه‌ای	۲۴۴
۲۵۶	۴-۴-۱۲- تحلیل ریسک‌های زیست‌محیطی	۲۵۶
۲۹۱	۵- علاج ریسک‌ها	۲۹۱
۲۹۱	۵-۱- مقدمه	۲۹۱
۲۹۳	۵-۲- راهبردهای مقابله با ریسک	۲۹۳
۲۹۴	۵-۳- پیشگیری از ریسک	۲۹۴
۲۹۶	۵-۴- کاهش تأثیرات	۲۹۶
۲۹۸	۵-۵- تسهیم ریسک	۲۹۸

۲۹۹	۵-۶- بیمه
۳۰۱	۵-۷- پذیرش ریسک
۳۰۲	۵-۸- به‌کارگیری داده‌های احتمال و پیامد
۳۰۶	۵-۹- استفاده از اطلاعات ریسک ذاتی و مورد توافق
۳۰۷	۵-۱۰- تدوین و انتخاب واکنش‌های علاجی امکان‌پذیر
۳۱۷	۵-۱۱- سناریوهای ریسک و واکنش
۳۱۸	۵-۱۲- ریسک‌های ثانویه و واکنش‌ها
۳۲۱	۵-۱۳- برنامه‌های اجرایی ریسک
۳۲۵	۵-۱۴- مدیریت ریسک‌های متوسط
۳۲۷	۵-۱۵- پیاده‌سازی
۳۲۸	۶- پایش و بازنگری
۳۲۸	۶-۱- مقدمه
۳۲۹	۶-۲- فرایندهای قاعده‌مند پایش
۳۳۴	۶-۳- به‌روز رسانی جدول ثبت ریسک
۳۳۴	۶-۴- بازنگری‌های اساسی در ریسک‌ها
۳۳۷	۷- ارتباطات و گزارش‌ها
۳۳۷	۷-۱- مقدمه
۳۳۷	۷-۲- دلایلی برای ارتباطات و گزارش‌دهی
۳۴۱	۷-۳- مقررات مناقصه
۳۴۶	۷-۴- گزارش‌ها
۳۵۱	۸- فرآیندها و برنامه‌های پروژه
۳۵۱	۸-۱- مقدمه

۳۵۲	۸-۲- پروژه و مدیریت ریسک سازمانی.....
۳۵۲	۸-۳- رویه‌های مدیریت ریسک.....
۳۵۳	۸-۴- مقررات رایج مربوط به ریسک، در پروژه‌های بزرگ.....
۳۵۶	۸-۵- برنامه‌ی مدیریت ریسک پروژه.....
۳۵۹	۸-۶- رابطه با مدیریت پروژه.....
۳۵۹	۸-۷- پایش و بازنگری برنامه.....
۳۶۱	۸-۸- خلاصه.....
۳۶۳	۹- ساده‌سازی فرآیند.....
۳۶۳	۹-۱- مقدمه.....
۳۶۶	۹-۲- بررسی‌های ساده‌ی ریسک.....
۳۶۸	۹-۳- مثال: مناقصه برای تعمیر و بازسازی یک گوی شناور.....
۳۷۲	۹-۴- مثال: برنامه‌ریزی برای یک خط لوله‌ی آب صنعتی.....
۳۷۲	۹-۴-۱- پیشینه، محدوده و اهداف.....
۳۷۴	۹-۴-۲- روش ارزیابی ریسک.....
۳۷۵	۹-۴-۳- چارچوب و مقیاس‌های تحلیل ریسک.....
۳۷۶	۹-۴-۴- سناریوها و ارزیابی ریسک.....
۳۷۹	۹-۴-۵- گزینه‌های علاج ریسک.....
۳۸۱	۹-۴-۶- ریسک‌های باقی‌مانده.....
۳۸۲	۹-۴-۷- نتیجه‌گیری.....
۳۸۳	۹-۴-۸- خلاصه.....
۳۸۵	۱۰- مدیریت فرصت‌ها.....
۳۸۵	۱۰-۱- مقدمه.....

۳۸۶	۱۰-۲- ریسک‌ها و فرصت‌های پروژه	۳۸۶
۳۸۷	۱۰-۳- ایجاد چارچوب	۳۸۷
۳۸۸	۱۰-۴- شناسایی فرصت‌ها	۳۸۸
۳۸۸	۱۰-۵- تحلیل فرصتها	۳۸۸
۳۹۲	۱۰-۶- علاج	۳۹۲
۳۹۴	۱۰-۷- مثال‌هایی برای فرصت‌های پروژه	۳۹۴
۴۰۲	۱۰-۸- خلاصه	۴۰۲
۴۰۳	۱۱- مهم‌ترین رویکردها به مدیریت ریسک	۴۰۳
۴۰۳	۱۱-۱- مقدمه	۴۰۳
۴۰۴	۱۱-۲- استاندارد ISO 31000	۴۰۴
۴۰۵	۱۱-۳- فصل یازدهم PMBOK	۴۰۵
۴۰۸	۱۱-۴- راهنمای PRAM	۴۰۸
۴۰۹	۱۱-۵- راهنمای MoR	۴۰۹
۴۱۰	۱۱-۶- مقایسه‌ی فرآیندها	۴۱۰
۴۱۱	۱۱-۶-۱- استاندارد ISO 31000 و AS/NZS 4360	۴۱۱
۴۱۲	۱۱-۶-۲- فصل یازدهم راهنمای PMBOK و راهنمای PRAM	۴۱۲
۴۱۲	۱۱-۶-۳- راهنمای MoR انگلستان	۴۱۲



Preview



یعنی برای مقابله با یکی از ریسک‌ها، ریسک‌های ثانویه‌ای ایجاد می‌شوند و حتی ممکن است برخی از ریسک‌هایی که برای علاج آن‌ها برنامه‌ریزی کرده‌بودید نیز، به عنوان ریسک ثانویه دوباره مطرح شوند. مثلاً ریسک آسیب به چشمان شما هنگام مطالعه‌ی شبانگاهی در زیر نور چراغ‌های پارک افزایش می‌یابد.

بنابراین بهتر است که بجای اجتناب از ریسک خراب شدن ساختمان در زمان وقوع زلزله، این ریسک را با انتخاب ساختمانی مقاوم‌تر، مانند سالن‌های اجتماعات و کتابخانه‌ها، کاهش دهید.

شاید در این چند سطر، با کاربرد واژه‌های شناسایی، ارزیابی و علاج ریسک‌ها نیز آشنا شده‌باشید، ولی هدف از طرح این مثال، بیان ضرورت برنامه‌ریزی، برای انجام اقداماتی حساب شده، در پاسخ به ریسک‌ها است. مدیریت ریسک، تمام فرآیندها و ساختارهایی را در بر می‌گیرد، که در کنار هم باعث کاهش تأثیر ریسک‌های منفی، و بهره‌برداری از فرصت‌ها می‌شوند.

۱-۲- مفهوم ریسک

«ریسک» واژه‌ای است که از زبان انگلیسی به زبان فارسی وارد شده‌است. سابقه‌ی این واژه در زبان انگلیسی نیز حداکثر به قرن هفدهم میلادی باز می‌گردد و معمولاً مفهوم آن در واژه‌نامه‌های عمومی به طور کامل نیامده‌است. (شاو، ۱۹۹۶)

منابع گوناگون، تعریف‌های متفاوتی از ریسک ارائه داده‌اند. برای بسیاری از مهندسی‌ن عمرانی، مطالب مندرج در استاندارد PMBOK¹ از اعتبار بالایی برخوردارند. این استاندارد، ریسک پروژه را چنین تعریف می‌کند: «ریسک پروژه، رویداد یا شرایطی غیر قطعی است، که در صورت رخداد، بر یک یا چند هدف پروژه مانند محدوده، زمان‌بندی، هزینه و کیفیت،

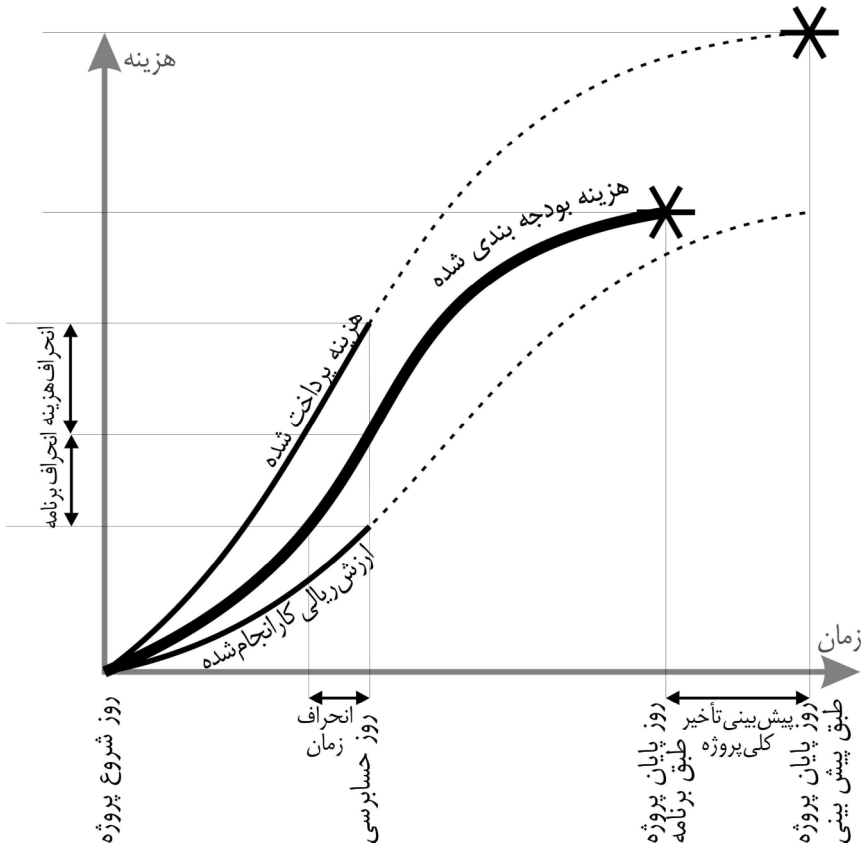
¹ Project Management Body Of Knowledge (PMBOK)



Preview



- کنترل کیفیت احداث، و اطمینان از تناسب پروژه و نتایج آن با اهداف مورد نظر.



شکل ۲-۱- منحنی S برای کنترل زمان و هزینه‌ی پروژه

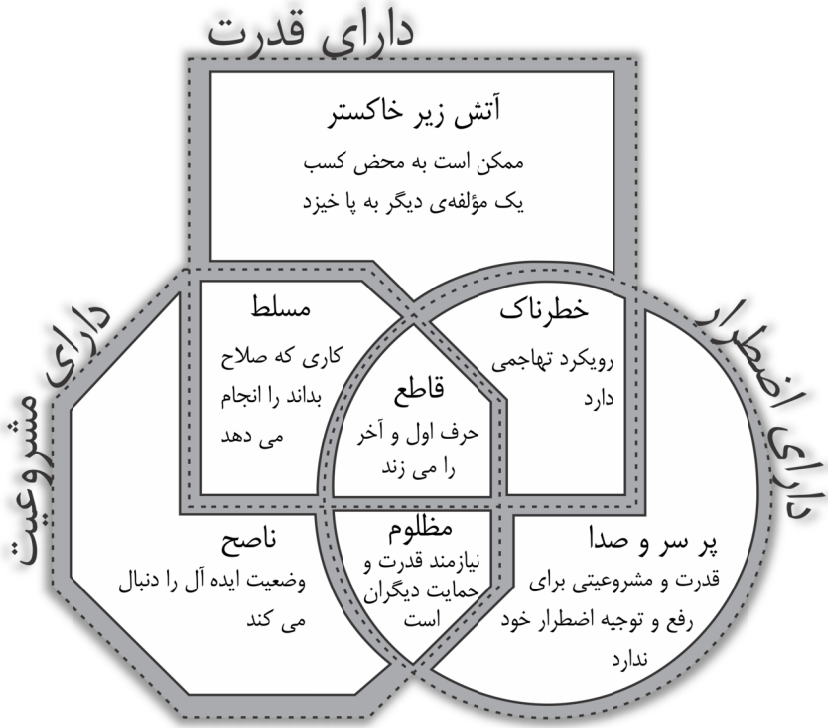
با بررسی اسناد اصلی پروژه ممکن است اهداف و معیارهای خاصی مانند راهبرد اجرای پروژه، منشور پروژه، فرضیات هزینه و زمان بندی، تعاریف محدوده، مطالعات و طراحی‌های مهندسی و هرگونه اسناد مرتبط دیگری درباره‌ی پروژه و هدف آن نیز تدوین شوند.



Preview



نباید از ذی‌نفعانی که صرفاً دارای مشروعیت هستند چشم‌پوشی کنند، چرا که علاوه بر زیر سوال رفتن مشروعیت پروژه، احتمال دارد این گروه‌ها به اضطراب دچار شوند، یا آن‌که قدرت پیدا کنند و برای پروژه مشکلاتی را ایجاد نمایند.



شکل ۲-۶- دسته‌بندی ذی‌نفعان از دیدگاه حفظ و پیشبرد پروژه

مانند بومیان عمل‌گرایی که از احداث سد بلومونته^۱ در برزیل ناراضی بودند، و در سال ۲۰۱۲، با حفر کانالی در سد خاکی موقت آن، اعتراض خود را به گوش مقامات قضایی رساندند (شکل ۲-۷)، یا NGOهایی که با اشغال محوطه‌ی جنگلی واقع در محدوده‌ی

¹ The Belo Monte Dam

پروژه، در روند احداث فرودگاهی در فرانسه ایجاد اختلال نمودند (شکل ۲-۸).



شکل ۲-۷- بومیان عمل‌گرا در رفتاری معترضانه و تخریبی، کانالی در سد خاکی موقت سد بلومونته برزیل حفر کرده‌اند. (فیز، ۲۰۱۲)

برای جمع‌آوری اطلاعات ذی‌نفعان با دیدگاه حفظ و پیشبرد پروژه، می‌توان از کاربرد شکل ۲-۹ نیز استفاده نمود.

۲-۴- معیارها

از مقررات سازمان و ذی‌نفعان اصلی برای استخراج «مجموعه‌ای از معیارها» برای پروژه استفاده می‌شود. این معیارها برای تعیین مقیاس‌های ویژه‌ای استفاده می‌شوند که در مراحل بعدی تحلیل ریسک، پیامدهای ریسک‌ها در قبال آن مقیاس‌ها ارزیابی خواهند شد. همچنین می‌توان با استفاده از این معیارها، مبنای اصلی سنجش پروژه در پایان آن را ایجاد نمود.



شکل ۲-۸- تلاش نیروهای فرانسوی برای بیرون راندن حامیان محیط زیست از جنگلی که قرار است برای احداث فرودگاه تسطیح شود (بلیز، ۲۰۱۲)

نام پروژه:	شماره سند:			
نام ذی‌نفع	مشروعیت حال آینده	قدرت حال آینده	اضطراب حال آینده	ملاحظات
تنظیم کننده:	تاریخ:	بازبینی:	تاریخ:	

شکل ۲-۹- تحلیل ذی‌نفعان از دیدگاه حفظ و پیشبرد پروژه

مثال: سد هوور^۱ یکی از بزرگ‌ترین سدهای ایالات متحده است که در سال ۱۹۳۶ بر روی رودخانه کلورادو^۲ بسته شده است. این سد تا سال ۱۹۴۵ میلادی، بزرگترین سازهی بتنی و بزرگترین نیروگاه برق‌آبی در جهان بود (شکل ۲-۱۰).

^۱ Hoover Dam

^۲ The Colorado River



Preview



فصل سوم

۳- شناسایی ریسک‌ها

۳-۱- مقدمه

شناسایی ریسک‌ها، فرآیندی است که در آن، تمام ابعاد «چارچوبی» که در مرحله‌ی قبل تدوین شده‌است بررسی می‌شود، و ریسک‌هایی که ممکن است بریزند و بر پروژه تأثیر بگذارند، تعیین و جزئیات آن‌ها نگاشته می‌شود.

شناسایی ریسک تعیین می‌کند که «چه چیزی» ممکن است رخ دهد، تا بتواند اهداف پروژه را تحت تأثیر قرار دهد، چنین چیزی «چگونه» می‌تواند رخ دهد و در صورت رخ دادن آن، «چه اتفاق‌هایی» خواهد افتاد.

مهم‌ترین نکته‌ای که در این جا وجود دارد، این است که فرآیند شناسایی ریسک باید جامع باشد، چرا که «ریسک‌هایی که شناسایی نشوند را نمی‌توان مدیریت نمود»، یعنی نمی‌توانند ارزیابی شوند، و بروز ناگهانی آن‌ها در مراحل بعدی، می‌تواند موفقیت پروژه را تهدید نماید و غافلگیری‌های ناخوشایندی پدید آورد. (کوپر، ۲۰۰۷)

فرآیند شناسایی می‌تواند با استفاده از اجزای اصلی ساختار یابد، تا در تمام حوزه‌هایی که قرار است پروژه به آن‌ها وارد شود، ریسک‌های آن حوزه به صورت منظم بررسی شوند. بودجه‌بندی فعالیت‌ها، زمان‌بندی فعالیت‌ها، شرح پروژه، ساختار شکست کار پروژه، تحلیل



Preview



تعداد قابل توجهی از ریسک‌ها، یا منشأ وقوع و پیامدهای آن‌ها ناشناخته می‌ماند.



شکل ۳-۴- معلق شدن جرثقیلی در نیویورک از ارتفاع ۶۵ طبقه در اثر طوفان سندی (National Post، ۲۰۱۲)

ضمن آن‌که شروع نکردن چنین روش‌هایی در مرحله‌ی شناسایی، عملاً به کارگیری آن‌ها را در مراحل بعد نیز دشوار و بی‌فایده می‌سازد. بنابراین، سعی می‌نماییم در این فصل نگاهی به تمام این روش‌ها داشته‌باشیم و بر روی برخی از روش‌های تحلیلی، مجدداً و به طور دقیق‌تر در فصل‌های آینده تمرکز نماییم.

۳-۲-۱- طوفان فکری

روشی که در شناسایی ریسک‌ها اولویت دارد، طوفان فکری در کارگاهی گروهی است. این روش برای شرکت‌کنندگان کمی دشوارتر از روش‌های سطحی جذابی مانند چک‌لیست‌ها است، ولی به‌طور قابل توجهی کارآمدتر است. طوفان فکری اجازه می‌دهد فرآیند شناسایی از ظرفیت «خلاق» شرکت‌کنندگان بهره‌بردار و خطر نادیده گرفتن مسایل جدید و درحال ظهور را (چنان‌که در چک‌لیست‌ها ممکن است رخ دهد) کاهش می‌دهد. طوفان فکری با متخصصینی از رشته‌های گوناگون که حتی ممکن است عضوی از پروژه نیز نباشند انجام می‌شود.

جلسات طوفان فکری را می‌توان به صورت ساده، یا به صورت ساختاریافته برگزار نمود. به عنوان مثال، هریک از اعضا، ریسک‌های مورد نظر خود را روی یک کاغذ می‌نویسد، سپس دبیر یا مباشر تمام ریسک‌ها را گردآوری می‌کند و موارد یکسان را حذف می‌کند. سپس از ابتدای فهرست شروع می‌کند و یک به یک ریسک‌ها را می‌خواند، و از حضار می‌خواهد که درباره‌ی هرکدام بحث کنند و مشخصات آن را برشمرند تا واضح‌تر تعریف شود. در خلال این بحث‌ها، و از کنار هم گذاشته‌شدن نظر افراد، ریسک‌های جدیدی نیز ممکن است کشف شوند و به فهرست اضافه شوند.

طوفان فکری برای شناسایی اولیه‌ی طیف وسیعی از ریسک‌ها، خصوصاً در پروژه‌های بزرگ یا منحصر به فرد روش بسیار مفیدی است. طوفان فکری، روشی تعاملی و گروه‌محور است،



Preview



برای پروژه دیده شده‌است پردازند و از صحت آن‌ها اطمینان حاصل کنند. در فرآیند مدیریت ریسک، تحلیل فرضیات و پیش‌بینی نقض آن‌ها در شرایط مختلف، به شناسایی ریسک‌های جدیدی منجر می‌شود که حاصل دقت پایین فرضیات، ناسازگاری آن‌ها و اطلاعات ناقص هستند و می‌توانند تأثیرات مهمی بر اهداف پروژه بگذارند.

مثال: در مهرماه سال ۱۳۹۲، حجم وسیعی از سطح یکی از خیابان‌های تهران به داخل گود موقت پروژه‌ای عظیم ریزش کرد. ابعاد این ساختمان در پروانه، برابر ۹ طبقه (۵ زیرزمین، ۱ همکف و ۳ تجاری)، تراکم ۲۵۳٪ و زیربنای کل ۱۱۸۷۶۳ مترمربع، و هنگام اجرا برابر ۳۸ طبقه (۱۰ زیرزمین، ۱ همکف و ۲۷ تجاری، فرهنگی، اداری و هتل)، تراکم ۱۰۵۶٪ و زیربنای ۳۱۷۲۳۰ بوده‌است. سازمان نظام مهندسی از سه ماه پیش از حادثه، شرایط گود را پرخطر و حاد دانسته‌بود و تیم‌های نظارت و پیمانکار پایش دقیقی بر رفتار دیواره‌های گود داشته‌اند. خوشبختانه در شب پیش از حادثه، سرپرست کارگاه با مشاهده‌ی علائم بروز ریسک، دستور تخلیه‌ی کانکس‌های موجود در محل خطر را داده‌بود و حادثه، تلفات جانی نداشت.

اگر پیش از اقدام به گودبرداری، فرضیات موجود به دقت مورد تحلیل قرار می‌گرفت، ممکن بود این نتیجه حاصل شود که با توجه به شرایط خاک، نشت احتمالی لوله‌ی فاضلاب و عمق زیاد گودبرداری، فرض امکان ایجاد گود موقت صحیح نیست و می‌بایست با رعایت ضوابط گودهای پایدار، دیواره‌ها به صورت پلکانی ساخته و تحکیم شوند.

تیم شناسایی ریسک باید به‌طور جامعی تمام فرضیات آشکار و نهانی که در طراحی‌ها و برنامه‌های فعلی پروژه وجود دارند را به دقت بررسی کند. در مثال بعد، فروریختن ساختمانی در بنگلادش را نشان می‌دهیم. در هنگام احداث این ساختمان هیچ مشکلی به

وجود نیامده‌است، اما تیم شناسایی ریسک می‌توانست فرضیات خود را چنین تحلیل کند: «قرار است ساختمانی که احداث می‌کنیم، یک فروشگاه ۹ طبقه‌ی پوشاک باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد محاسبات سازه با محاسبات بارگذاری انطباق دارند و مشکلی پیش نخواهد آمد. اما، اگر، برخی مالکین مغازه‌ها تصمیم بگیرند پوشاک مورد عرضه‌ی خود را خودشان و در همین ساختمان تولید کنند، آیا نیاز نیست محاسبات بارگذاری و در نتیجه محاسبات سازه را تغییر دهیم؟»



شکل ۳-۷- ریزش گود موقت پروژه‌ی تجاری در تهران. (عکس: تسنیم، ۱۳۹۲)

مثال: مرگبارترین حادثه‌ی ریزش در تاریخ صنعت ساختمان، سانحه‌ی ساختمان رانا پلازا^۱ در بهار ۲۰۱۳ در حومه‌ی پایتخت بنگلادش است.

^۱ The Rana Plaza Building

درست روز پیش از حادثه، علائمی از احتمال خرابی ساختمان مشاهده شد، ولی صاحب‌کارها هشدار را نادیده گرفتند و به کارگرانشان دستور دادند روز بعد نیز به سر کار بروند. راناپلازا ساختمانی ۹ طبقه و مملو از فروشگاه‌ها و کارگاه‌های پوشاک با هزاران کارگر و فروشنده بود. در صبح روز حادثه، بانک و فروشگاه‌های طبقه‌ی همکف، با دیدن ترک‌های عمیق کار خود را تعطیل کردند و محل را ترک کردند، اما کارگران و بازدیدکنندگان طبقات بالا فرصت فرار نیافتند و ۱۱۲۹ نفر با ریزش ساختمان کشته شدند.



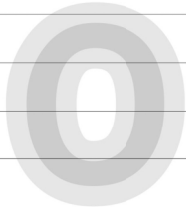
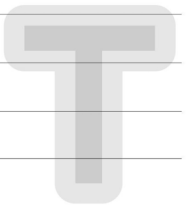
طراح ساختمان، معتقد است بار سنگین و دینامیک حاصل از ماشین‌آلات بافندگی در طبقات فوقانی منجر به حادثه شده‌است، چون او ساختمان را تنها برای کاربری فروشگاه‌های طرح نموده‌است.



شکل ۳-۸- فروریختن ساختمان راناپلازا در بنگلادش (گاردین، ۲۰۱۳)

۳-۲-۷- تحلیل قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدها (SWOT)^۱

در این روش، افرادی که بیشتر با مسائل و تاریخچه‌ی سازمان آشنا هستند، به بررسی نقاط قوت، نقاط ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهایی می‌پردازند، که ممکن است بر ریسک‌های داخلی تأثیر بگذارند. در این روش، ابتدا نقاط قوت و ضعف سازمان با تمرکز بر پروژه‌ی مورد نظر شناسایی می‌شوند، سپس فرصت‌هایی که از نقاط قوت ناشی می‌شوند و همچنین تهدیدهایی که از نقاط ضعف نشأت می‌گیرند شناخته می‌شوند.

	نکات مثبت (که در جهت نیل به اهداف پروژه کمک می‌کنند)	نکات منفی (که مانع نیل به اهداف پروژه می‌شوند)
نکات داخلی (خصوصیات و تجربه‌های سازمان)		
نکات بیرونی (خصوصیات پروژه و محیط)		

شکل ۳-۹- کاربرد تحلیل SWOT

¹ Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT)

همچنین نقاط قوت سازمان می‌توانند فرصت‌های موجود را تقویت کنند و تهدیدها را کم‌رنگ کنند، همچنان‌که نقاط ضعف می‌توانند دستیابی به فرصت‌ها را با مشکل مواجه کنند و پروژه را بیشتر در معرض ریسک‌های موجود قرار دهند. از این رو، انجام این تحلیل برای شناسایی ریسک‌ها بسیار ضروری است.

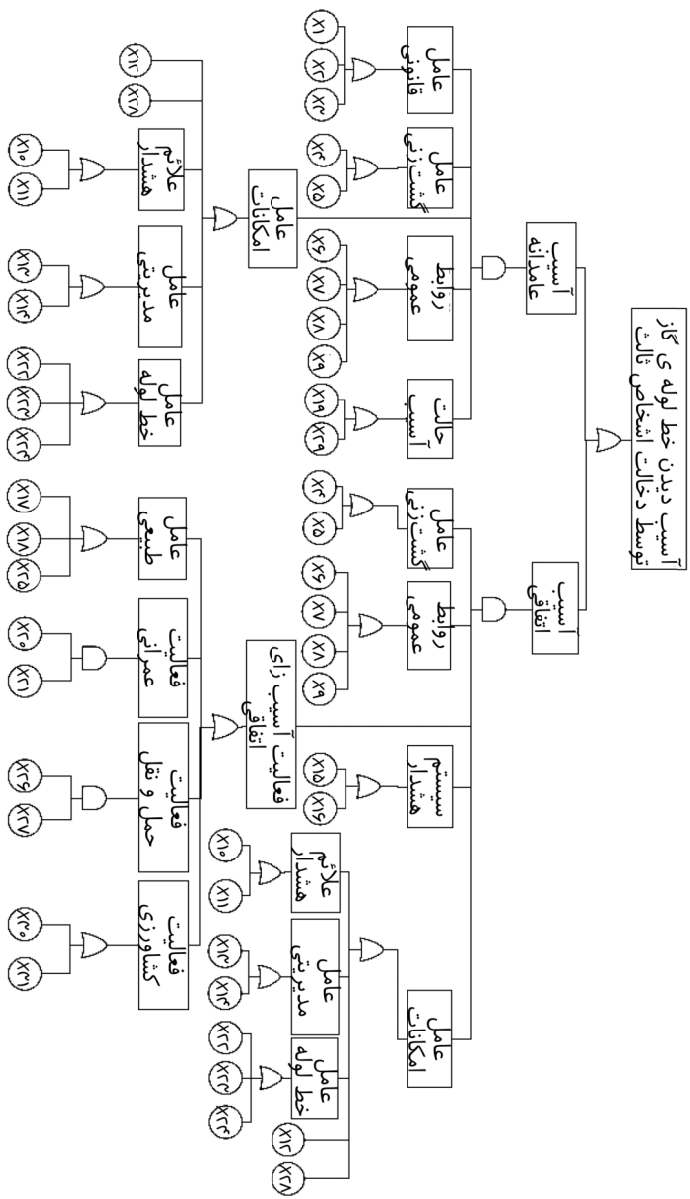
البته باید توجه داشت که در تحلیل SWOT، ریسک‌ها و فرصت‌ها از منظر کل سازمان دیده می‌شوند نه از فضای داخل پروژه. یعنی با توجه به سوابق سازمان و پروژه‌هایی که انجام داده‌است، بررسی می‌شود که سازمان در انجام چه پروژه‌ها و فعالیت‌هایی موفق بوده‌است و در کدام کارها دچار خسارت شده‌است.

۳-۲-۸- روش تحلیل درخت خطا (FTA)^۱

تحلیل درخت خطا، روشی پس‌رو است که به بررسی عوامل، ریشه‌ها و چگونگی رخداد یک ریسک خاص می‌پردازد و در مراحل بعد، با انجام تحلیل کمی، احتمال رخداد آن ریسک را برآورد می‌نماید. در روش درخت خطا می‌توان تنها به شناسایی علل یک ریسک خاص توجه نمود. در این روش، درختی وارونه ترسیم می‌شود و در رأس آن، ریسک مورد نظر نوشته می‌شود و «اتفاق رأس»^۲ نام می‌گیرد. شاخه‌های این درخت وارونه، اتفاق‌هایی هستند که با ترکیب‌های علت و معلولی میان خود، باعث رخ دادن اتفاق رأس خواهند شد. هرکدام از این اتفاق‌ها می‌تواند یک عامل خطرآفرین، یا عدم توانایی سیستم برای کنترل این عامل باشد. هرچه شاخه‌ها پایین‌تر می‌روند، ریشه‌ها جزئی‌تر بررسی می‌شوند، تا جایی که به اتفاق‌های پایه برسند. شکل ۳-۱۰ نمونه‌ای از ترسیم درخت خطا را برای آسیب دیدن خط لوله‌ی گاز نشان می‌دهد.

^۱ Fault Tree Analysis (FTA)

^۲ Top Event



شکل ۳-۱۰- نمودار درخت خطا برای ریسک آسیب دیدن خط لوله ی گاز (لیانگ، ۲۰۱۲)

«اتفاق کنکاو نشده»^۱ اتفاقی است که به خودی خود رخ نمی‌دهد، ولی درباره‌ی عوامل رخ‌دادن آن کنکاو بیشتری نشده است. علت رها شدن این اتفاق، می‌تواند نبود اطلاعات کافی، یا اهمیت کم آن باشد. همچنین جایی که تمام علت‌های یک اتفاق قابل شناسایی نیستند، ولی اطمینان وجود دارد که علت‌های اصلی مطرح شده‌اند، می‌توان با افزودن یک اتفاق کنکاو نشده، مفهوم «سایر» را نشان داد. اتفاق‌های کم‌اهمیت، هنگام شروع تحلیل کمی از درخت خطا حذف می‌شوند، ولی از آن‌جا که درخت خطا روشی ارتباطی است، در ابتدا و هنگام تحلیل کیفی برای نشان‌دادن محدوده‌ی تحلیل و ابعاد مسئله به ذی‌نفعان در آن نوشته می‌شوند. اتفاق‌های کنکاو نشده با لوزی ایستاده نشان داده می‌شوند.



«اتفاق شرط»^۲ اتفاقی است که به دروازه‌ی شرطی متصل می‌شود و حصول نتیجه از آن را کنترل می‌نماید. از نظر کارکرد و عملگرهای منطقی، اتفاق شرط مشابه اتفاق‌های دیگر است، و تنها به‌خاطر بیان بهتر استفاده می‌شود. اتفاق شرط با بیضی نشان داده می‌شود.



«اتفاق قلعه»^۳ اتفاقی معمولاً مجازی است که برای حذف یا مورد توجه قرار دادن یک شاخه از درخت خطا، استفاده می‌شود. اتفاق قلعه دو حالت خاموش (رخ ندادن) و روشن (رخ دادن قطعی) دارد. با قرار دادن یک قلعه‌ی خاموش در ورودی‌های یک دروازه‌ی «و»، احتمال خروجی آن دروازه «صفر»، و شاخه‌ی آن حذف



¹ Undeveloped Event

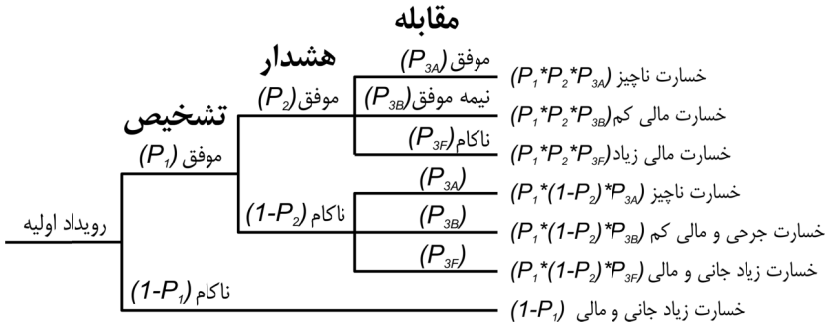
² Condition Event

³ House Event



Preview





شکل ۳-۱۳- رایج‌ترین صورت درخت رویداد

مثال: آتش سوزی سال ۲۰۱۰ شانگهای^۱ در ساختمان ۲۸ طبقه‌ای که در سال ۱۹۹۷ احداث شده بود، هنگامی که چندین پیمانکار جزء مشغول بازسازی نمای آن بودند، رخ داد. احتراق داربست‌ها در اثر جرقه‌های جوشکاری و شعله‌ور شدن فوم‌های عایق پلی‌یورتان^۲، ۴۴۰ نفر ساکن این ساختمان را که عمدتاً افراد بازنشسته‌ی بالای ۵۰ سال بودند به دام انداخت و منجر به کشته شدن حداقل ۵۸ نفر، و سوختگی بیش از ۷۰ نفر دیگر شد. در این حادثه، شرکت پیمانکار که سیستم پیمانکاری جزء چند لایه‌ای را به‌کار گرفته بود، ناظران پروژه و جوشکاران بدون مدرک، مقصر شناخته شدند.

احتمال رخداد یا عدم رخداد هر کدام از رویدادها، به کمک اطلاعات فنی و تجربه‌ها به‌دست می‌آید و روی هر قطعه از مسیر نوشته می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳-۱۳ دیده می‌شود، لازم نیست که برای هر رویداد تنها دو حالت فرض شود، بلکه هر مرحله از زنجیره‌ی رویدادها، می‌تواند شامل مسیری ایمن و کنترل شده، مسیری حادثه‌آفرین، و تعدادی مسیر با کیفیت‌های تنزل یافته‌ای میان این دو باشد.

¹ The 2010 Shanghai Fire

² Polyurethane Foams



شکل ۳-۱۴- آتش سوزی سال ۲۰۱۰ شانگهای (شینهوانت، ۲۰۱۰)

تنها لازم است اصول احتمالات بر درخت تشکیل شده حاکم باشند. به عنوان مثال، جمع احتمال تمام مسیره‌های هر مرحله برابر واحد باشد و میان رخدادها، با تقریب قابل قبولی استقلال وجود داشته‌باشد. از دنبال کردن منطقی مسیره‌های مختلف درخت، پیامدها و احتمال رخداد سناریوهای مختلف هر ریسک به دست می‌آید و از کنار هم گذاشتن آن‌ها، نیمرخ ریسک سیستم حاصل می‌شود.

درخت رویداد را می‌توان یکی از روش‌های تحلیل ریسک احتمالاتی دانست که تمام نتایج ممکن از یک حادثه را به طور کامل بررسی می‌کند و شناسایی کامل هر کدام از ریسک‌ها را میسر می‌سازد، ولی از آنجا که هر درخت رویداد تنها به بررسی یک رویداد اولیه می‌پردازد، ممکن است برای یک سیستم ترسیم چندین درخت رویداد لازم باشد. فراگیری درخت رویداد ساده است و در بسیاری از پروژه‌ها و سیستم‌ها می‌توان آن را به کار برد.

۳-۲-۱۱- روش تحلیل حالات و آثار شکست‌ها (FMEA)^۱

تحلیل حالات و آثار شکست‌ها روشی پیش‌رو و کیفی است که به شناسایی ابتدایی ریسک‌ها و آثار آن‌ها می‌پردازد. در این تحلیل، ابتدا سیستم به بخش‌های کوچک و قابل بررسی تقسیم می‌شود. هر بخش می‌تواند قطعه‌ای سخت‌افزاری، فعالیت، یا قسمتی از کل کار باشد. سپس تیم شناسایی ریسک، با استفاده از تجارب پیشین خود و دانش فنی موجود، درباره‌ی این که هریک از بخش‌ها ممکن است با چه نوع شکست‌هایی مواجه شوند بحث می‌کنند و آن را در جدولی مانند شکل ۳-۱۵ می‌نویسند.

سپس تلاش می‌کنند تا «علت‌های بروز هر کدام از حالت‌های شکست»، «تأثیرات مستقیم آن بر بخش‌های دیگر»، «تأثیرات آن بر کل سیستم»، «روش تشخیص به موقع شکست» و «کنترل‌های موجود» را نیز استنتاج کنند و در مراحل بعد، «اقدامات علاجی» دیگری را

^۱ Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)



Preview



سودمندی را ارائه دهد. به هر حال این روش، تنها توان بررسی شکست‌های بخش‌های مجزای سیستم را دارد و شکست‌هایی که در ترکیبی از بخش‌های سیستم رخ دهند را در نظر نمی‌گیرد. همچنین قرارگیری سیستم‌ها در معرض ریسک‌های دیگری بجز خرابی و شکست بخش‌های خود سیستم، مانند ریسک‌های ناشی از خطاهای انسانی و حوادث محیطی نیز از حوزه بررسی این روش بیرون است و بنابراین، نمی‌تواند به عنوان تنها روش شناسایی ریسک‌های در یک پروژه استفاده شود.

۳-۲-۱۲- روش خطر و کارایی (HazOp)^۱

«مطالعات خطر و کارایی» به بررسی منظم و جزء به جزء دستگاه‌های سیستم می‌پردازد و رفتار آن‌ها را در شرایط غیر عادی می‌سنجد. در این روش (که عموماً در کارخانه‌های صنایع شیمیایی و سیستم‌هایی که محصول خود را از طریق فرآوری به دست می‌آورند استفاده می‌شود)، توجه اعضای تیم مدیریت ریسک، به دلایل بروز هر اتفاق، پیامدهای آن، و تأثیری که بر کل سیستم می‌گذارد معطوف می‌شود. بنابراین، می‌توان گفت این روش، ترکیب و حد واسطی از روش‌های درخت خطا و FMEA است (دانجو، ۲۰۱۰).

روش خطر و کارایی بر این مبناست که هر اتفاق ناگواری که در سیستم رخ می‌دهد، حاصل منحرف شدن از شرایط عادی است. با قرار گرفتن این انحراف (که می‌تواند بالارفتن یا پایین آمدن بیش از حد فشار، دما، لزجت، pH یا معکوس شدن جریان، ورود ناخالصی‌ها یا خرابی تجهیزات باشد)، در چرخه فرآوری، ممکن است حادثه‌ای رخ دهد. به عنوان مثال، تحلیل فاجعه‌ی بوپال در روش مطالعات خطر و کارایی، چنین خواهد شد: جریان معکوس آب (با کلید واژه Rev^۲)، یا اضافه شدن مقدار آب (با کلید واژهی MtA^۱) تأثیر مستقیم

^۱ Hazard & Operability Studies (HAZOP Studies)

^۲ Reverse Flow

بر ایزوسیانات متیل داشته، منجر به انفجار و نشت گاز در منطقه شده‌است.

مثال: نشت گاز «ایزوسیانات متیل»^۲ از یکی از کارخانه‌های شرکت آمریکایی «یونیون کارباید»^۳ در هند، بدترین فاجعه‌ی صنعتی جهان، یعنی فاجعه‌ی بوپال^۴ را در شب سوم دسامبر ۱۹۸۴ ایجاد کرد. گفته می‌شود در اثر این حادثه بیش از ۸۰۰۰ نفر در روزهای اول و مجموعاً بیش از ۱۹۰۰۰ نفر در سال‌های آینده کشته، و بیش از نیم میلیون نفر دچار مسمومیت حاصل از قرارگیری در معرض گاز ایزوسیانات متیل شدند. این افراد که عمدتاً ساکن حلبی‌آبادها بودند، صبح روز بعد با احساس علائمی چون سرفه، استفراغ، سوزش شدید چشم و احساس خفگی، پا به فرار گذاشتند و عده‌ای هم در این مسیر جان خود را از دست دادند و اجساد بسیاری در رودخانه‌ی نارمادا^۵ که در صد کیلومتری کارخانه بود انباشته شدند. قحطی سراسری، منطقه را فرا گرفت، درختان طی چند روز زرد و سپس خشک شدند، تعداد زیادی از جانوران کشته شدند و سایر آنان زیستگاه خود را ترک کردند، و ممنوعیت ماهیگیری بخاطر آلودگی نیز به ابعاد قحطی غذایی افزود.

گفتنی است که بازدیدکنندگان داخلی و خارجی این کارخانه، که نوعی فرآورده به نام «کاربارایل» را به روشی نامتعارف ولی ارزان‌تر تولید می‌نمود، از سال ۱۹۷۹، احتمال بروز چنین ریسکی را گوشزد کرده بودند و تا زمان فاجعه نیز، چندین مورد نشت جزئی دیگر منجر به کشته و مسموم شدن حدوداً ۵۰ کارگر

^۱ More than Adequate

^۲ Methyl IsoCyanate (MIC)

^۳ The Union Carbide India Limited (UCIL)

^۴ Bhopal Disaster

^۵ The Narmada River

شده بود. به‌هرحال مسئولین شرکت قصور خود را نپذیرفتند و اعلام کردند که مقدار زیادی آب به صورت خرابکاری در مخزن این گاز ریخته شده‌است. البته فرضیات دیگری که فرآیندهای موجود در کارخانه را عامل نفوذ آب به مخزن می‌دانستند نیز اثبات نشدند، اما سازمان جهانی کار، کارخانه را بخاطر پوسیده بودن مخازن، پرکردن بیش از حد آن‌ها و نقص ایمنی تجهیزات، و دولت محلی و شرکت مرکزی را بخاطر فشارهای اقتصادی مقصر دانست.



شکل ۳-۱۶- منطقه‌ی آسیب‌دیده‌ی یوبال در هند

شرکت یونیون کارباید، تجربه‌ی حادثه‌هایی همچون مرگ ناشی از مسمومیت صدها کارگر در تونل «لانه‌ی شاهین»^۱ در آمریکا (۱۹۲۷-۱۹۳۲) که آن هم یکی از بدترین فاجعه‌های صنعتی جهان خوانده‌شده، و مسمومیت آب‌های بندرگاه سیدنی در استرالیا را نیز در تاریخچه‌ی خود ثبت کرده‌است.

¹ The Hawks Nest Tunnel Disaster



شکل ۳-۱۷- مخازن کارخانه‌ی یونیون کارباید در بوبال هند، پس از حادثه

در روش مطالعات خطر و کارایی ابتدا سیستم مورد بررسی به اجزای اصلی و واحدهای کوچک هرکدام از آنها تقسیم می‌شود. ساختار این تقسیم عمدتاً بر مبنای نقشه‌های جزئی، مانند نمودارهای لوله‌کشی و تجهیزات (P&IDs)^۱ مانند شکل ۳-۱۸ و همچنین فلوچارت‌های جریان فرآیند (PFDS)^۲ قرار دارد. سپس رفتار هرکدام از واحدها در برابر شرایط غیرعادی و بروز انحراف‌های گوناگون، تحلیل می‌شود و تأثیر آن بر اجزای اصلی و بر کل سیستم پیش‌بینی می‌شود. همچنین بررسی می‌شود که در سیستم چه عوامل پیشگیرانه‌ای برای این مشکلات در نظر گرفته شده‌اند و در صورت عدم کفایت، چه اقداماتی باید انجام شوند.

^۱ Piping and instrumentation Diagrams (P&IDs)

^۲ Process Flow Diagrams (PFDS)



Preview



مهندسين، و با سازه‌ای قوی‌تر شروع به کار کرد. این بار نیز سازه از دو بخش کناری به همراه طره‌ای میانی تشکیل شده بود، اما در سپتامبر سال ۱۹۱۶، بخش میانی پل، هنگامی که برای نصب به بالا کشیده می‌شد، همراه بالابرها به درون رودخانه سقوط کرد و ۱۳ کارگر دیگر را به کشتن داد. همزمانی این اتفاق با جنگ جهانی نخست، ابتدا ایده‌ی خرابکاری آلمانی‌ها را شایع نمود، اما خیلی زود مشخص شد که مشکل از بالابرها بوده‌است.



شکل ۴-۵- طره‌ی میانی پل کبک در حال بالا کشیده شدن جهت نصب (تصویر از دانشگاه برکلی)

دولت کانادا با آن که به تبعیت از دولت انگلیس درگیر جنگ جهانی بود، با توجه ویژه‌ای، آهن مورد نیاز پروژه را تأمین کرد و پروژه پس از دو دهه با صرف ۲۵ میلیون دلار و از دست رفتن جان حدود ۹۰ نفر، در سال ۱۹۱۹ افتتاح شد. هنوز

سازه‌ی خراب شده نیز در عمق رودخانه‌ی سنت لورنس^۱ قرار دارد، اما باید گفت که طول ۵۴۹ متری دهانه‌ی میانی این پل، همچنان به عنوان یکی از شاهکارهای برتر مهندسی مطرح است.



شکل ۴-۶- پل کبک بر فراز رودخانه‌ی سنت لورنس کانادا

شکل ۴-۷، نمونه‌ای اجمالی از فرم ارزیابی پروژه‌های فنی را نشان می‌دهد. توجه داشته‌باشید که در هر پروژه‌ای، لازم است چنین فرمی را با توجه به شرایط مخصوص همان پروژه به دقت تدوین نمایید.

مثال: در پنجم ژوئن ۲۰۱۳، عملیات تخریب ساختمانی ۴ طبقه در فیلادلفیا حادثه‌ای با ۶ کشته و ۱۴ زخمی برجا گذاشت.

در شکل ۴-۱۰، تصویر پایین، با نگاه به سمت جنوب، موقعیت این ساختمان را در کنار ساختمان یک طبقه‌ی فروشگاه‌ی نشان می‌دهد که در روز حادثه مملو از فروشندگان و خریداران بوده‌است. پیمانکار تخریب ساختمان چهار طبقه، بارها درخواست استفاده از سقف ساختمان فروشگاه را برای ایمن‌سازی عملیات تخریب مطرح کرده بود اما نتوانسته بود با مالک آن به توافق برسد. در واقع ایمنی عملیات تخریب به مذاکره با مالک فروشگاه مجاور وابسته بوده‌است. اما پیمانکار

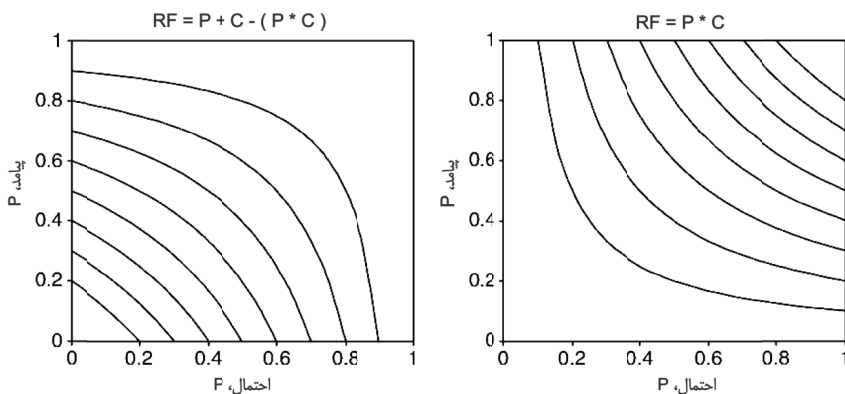
¹ The St. Lawrence River



Preview



نادیده گرفته شدن ریسک‌های با پیامد زیاد ولی با احتمال کم شدیداً کاهش می‌یابد. در واقع هر کدام از ریسک‌ها، چه احتمال زیاد، چه پیامد زیاد داشته باشند، در اولویت‌های بالاتر قرار خواهند گرفت.



شکل ۴-۱۵- مقایسه‌ی روش‌های متعارف و اجتماع در محاسبه‌ی عدد اولویت ریسک

۴-۳-۹- روش FMEA برای محاسبه‌ی عدد اولویت ریسک

همان‌طور که در توضیح روش FMEA در فصل شناسایی ریسک‌ها گفته شد، معمولاً هنگام استفاده از این روش در شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها، شاخصی نیز برای قابلیت کشف ریسک‌ها^۱، D، تعریف می‌شود. شاخص کشف به طور نزولی با افزایش قابلیت کشف ریسک کاهش می‌یابد. بدین معنا که هر چقدر علائم نشان‌دهنده‌ی زود هنگام بروز ریسک بیشتر در دسترس باشند، این شاخص کمتر خواهد بود. نمونه‌ای از اعداد به کار رفته برای شاخص کشف در جدول ۴-۲۹ نشان داده شده است.

در این روش، عدد اولویت ریسک^۲، RPN، از ضرب عددهای تخصیص داده شده به احتمال،

¹ Detection Rating

² Risk Priority Number



Preview



۴-۴-۲- قوانین احتمالات

۴-۴-۲-۱- اصول اساسی احتمالات

از دروس ریاضی و احتمالات به یاد داریم که سه اصل اساسی احتمالات عبارتند از:

- اصل نامنفی بودن تمام احتمال‌ها: برای هر اتفاق A داریم:

$$P(A) \geq 0 \quad \text{رابطه ۷-۴}$$

- اصل تمامیت: اگر S مجموعه‌ی مرجع باشد، احتمال این که اتفاقی درون یا تحت

شرایط S رخ دهد برابر ۱ است:

$$P(S) = 1 \quad \text{رابطه ۸-۴}$$

- اصل جمع‌پذیری: احتمال اجتماع دو اتفاق ناسازگار^۱ برابر با جمع احتمال آن‌ها

است. اگر A و B با یکدیگر ناسازگار باشند:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) \quad \text{رابطه ۹-۴}$$

دو یا چند اتفاق ناسازگار، اتفاق‌هایی هستند که در صورت رخداد یکی از آن‌ها، امکان ندارد اتفاق‌های دیگر رخ دهند.

از کنار هم گذاشتن دو اصل نخست، متوجه می‌شویم که احتمال رخ دادن هر اتفاقی میان صفر و یک است. اصل سوم را نیز می‌توان در حالت کلی تر چنین بیان نمود: احتمال اجتماع اتفاق‌های دو به دو ناسازگار^۲ برابر با جمع احتمال تک تک آن‌ها است:

$$P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = P\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \quad \text{رابطه ۱۰-۴}$$

^۱ Exclusive Events

^۲ Mutually Exclusive Events

اتفاق غیرممکن، معادل مجموعه‌ای تهی است و احتمال متناظر آن نیز برابر صفر است:

$$P(\emptyset) = 0 \quad \text{رابطه ۴-۱۱}$$

بنابراین، احتمال اشتراک دو اتفاق ناسازگار A و B برابر با صفر است:

$$P(A \cap B) = 0 \quad \text{رابطه ۴-۱۲}$$

توجه داشته باشید که هرچند احتمال اتفاقی غیر ممکن برابر با صفر است، عکس این مسئله صحیح نیست. یعنی مثلاً اگر احتمال وقوع جریانی با دبی ۲۰۰۰ مترمکعب در ثانیه، برابر با صفر به دست می‌آید، نمی‌توانیم اعلام کنیم که وقوع چنین جریانی «غیر ممکن» است.

اگر از اصل سوم، شرط ناسازگاری را برداریم، احتمال اجتماع دو اتفاق برابر خواهد بود با:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad \text{رابطه ۴-۱۳}$$

که به صورت کلی‌تر، برای چند اتفاق می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} P\left(\bigcup_{i=1}^n A_i\right) &= \sum_{i=1}^n P(A_i) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n P(A_i \cap A_j) \\ &+ \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n P(A_i \cap A_j \cap A_k) - \dots \\ &+ (-1)^n P(A_i \cap A_j \cap \dots \cap A_n) \end{aligned} \quad \text{رابطه ۴-۱۴}$$

بدیهی است که اگر تمام اتفاق‌های A_i با یکدیگر دو به دو ناسازگار باشند، تمام جمله‌های فرمول اخیر، به‌جز جمله‌ی نخست، برابر صفر و حذف می‌شوند، و همان رابطه‌ی کلی اصل سوم باقی می‌ماند.

مثال ۱: رواناب دو حوضه‌ی آبریز از طریق دو شاخه جمع می‌شود (شکل ۴-۱۷).

از تجارب گذشته‌ی منطقه می‌دانیم اگر طوفان بزرگی در این حوضه رخ دهد، احتمال این که آب در انشعاب ۱ طغیان کند، ۵۰٪ است، در حالی که احتمال



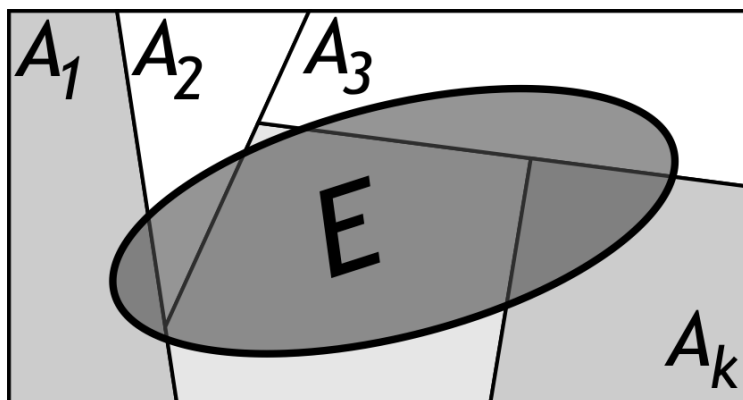
Preview



در این صورت می‌توان احتمال رخداد اتفاق E را با استفاده از احتمال رخداد‌های جزئی‌تر آن، در کنار A_i ها محاسبه نمود:

$$P(E) = \sum_{i=1}^k P(E \cap A_i) = \sum_{i=1}^k P(E|A_i) \times P(A_i) \quad \text{رابطه ۴-۲۰}$$

که این رابطه، «قضیه‌ی احتمال کل» نام دارد.



شکل ۴-۱۹- اتفاق E در شرایط k مجموعه‌ی مکمل دو به دو ناسازگار

مثال ۵: شکل ۴-۲۰ اتصال دو مجرای جمع‌آوری آب‌های سطحی (I_1 و I_2) را نشان می‌دهد که مقطع آن‌ها یکسان است و پس از اتصال نیز، جریان در آن‌ها در مقطع مشابهی (I_3) ادامه می‌یابد. خصوصیات حوضه‌ی آبریز به دو مجرای I_1 و I_2 با یکدیگر تفاوت می‌کند. در اینجا باز هم احتمال سرریز جریان هر یک از مجراها به ترتیب ۵۰٪ و ۴۰٪ است.

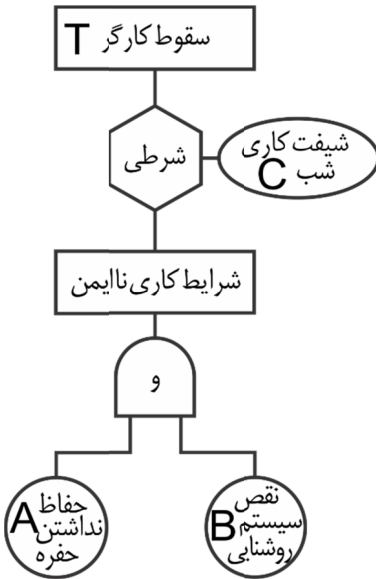
¹ Collectively Exhaustive Events



Preview



شکل ۴-۲۹- درخت خطای سقوط کارگر در حفرة

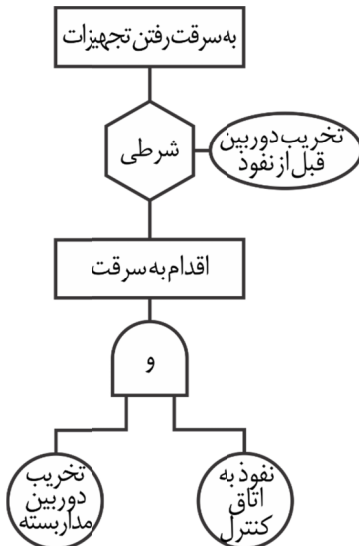


در این مثال، جایگاه عبارت شرط همانند ورودی‌های دروازه‌ی «و» است. بنابراین احتمال رخداد اتفاق رأس برابر خواهد بود با:

$$P(T) = P((A \cap B) \cap C)$$

یعنی اگر نیمی از شیفت‌های کاری در روز و نیمی از آن‌ها در شب برقرار شده باشند، می‌توان گفت در ۵۰٪ موارد، نقص سیستم روشنایی و حفاظ نداشتن حفرة، منجر به سقوط کارگر خواهند شد:

$$P(T) = 0.5 \times P(A \cap B)$$



عبارت شرط ممکن است دروازه‌ی «شرطی» را به کاربردهای متفاوتی منطبق نماید. مثلاً درخت خطای شکل ۴-۲۶ را که از یک دروازه‌ی «و» ترتیب‌دار» استفاده کرده‌است، می‌توان با دروازه‌ی شرطی نیز مدل نمود (شکل ۴-۳۰).

شکل ۴-۳۰- معادل سازی دروازه‌ی «و ترتیب‌دار» با دروازه‌ی شرطی

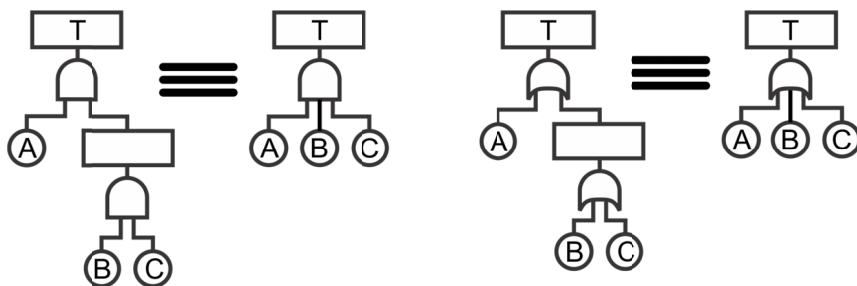
به هر حال، مفهومی که در پس «دروازه‌ی شرطی» وجود دارد را نباید با مفهوم «احتمال شرطی»^۱ اشتباه گرفت. در احتمال شرطی، رخ دادن مجموعه‌ی شرط، قطعی فرض می‌شود و جایگزین مجموعه‌ی مرجع می‌گردد. بنابراین محاسبه‌ی احتمال یک مجموعه تحت یک احتمال شرطی، باعث تقسیم احتمال اشتراک آن‌ها به احتمال مجموعه‌ی شرط (که عددی کوچک‌تر از ۱ است) و افزایش احتمال حاصل، نسبت به احتمال اشتراک می‌شود. در حالی که در دروازه‌ی شرطی، عبارت شرط نیز تعدادی از حالات مطلوب را حذف می‌کند و حاصل آن برابر احتمال اشتراک است.

۱۳. عملگرهای اشتراک و اجتماع، هر دو از خاصیت شرکت‌پذیری تبعیت می‌کنند:

$$P(A \cap (B \cap C)) = P((A \cap B) \cap C) = P(A \cap B \cap C) \quad \text{رابطه ۴-۴۲}$$

$$P(A \cup (B \cup C)) = P((A \cup B) \cup C) = P(A \cup B \cap C) \quad \text{رابطه ۴-۴۳}$$

کاربرد این مطلب در درخت خطا، در شکل ۴-۳۱ نشان داده شده‌است.



شکل ۴-۳۱- شرکت‌پذیری در عملگر اجتماع (سمت راست) و اشتراک (سمت چپ)

۱۴. گاهی به‌خاطر تکرارهای بی‌په‌دهی اتفاق‌های پایه، درخت خطا پیچیده و حجیم

^۱ Conditional Probability. $P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$

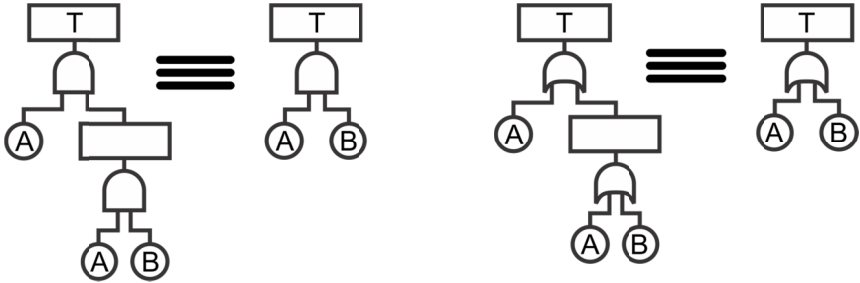
می‌شود. با استفاده از خاصیت خودتوانی می‌توان رابطه‌ی نهایی را ساده‌تر نمود:

$$P(A \cap A) = P(A)$$

رابطه ۴۴-۴

$$P(A \cup A) = P(A)$$

رابطه ۴۵-۴



شکل ۴-۳۲- خاصیت خودتوانی در عملگر اجتماع (سمت راست) و اشتراک (سمت چپ)

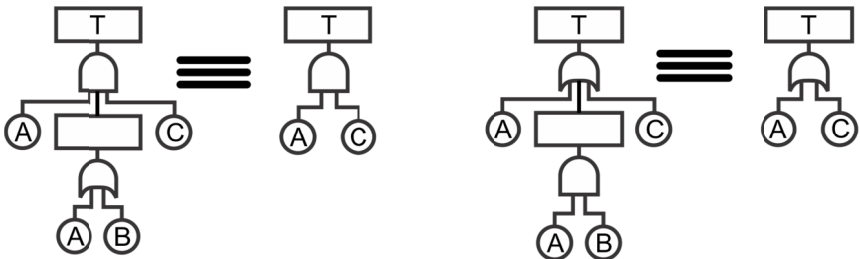
۱۵. قانون جذب نیز می‌تواند در ساده‌سازی و حذف برخی تکرارهای بی‌پهوده کمک نماید. عملگرهای اشتراک و اجتماع یکدیگر را جذب می‌نمایند که کاربرد این قانون در رابطه ۴۶-۴ و رابطه ۴۷-۴ و همچنین شکل ۴-۳۳ نشان داده شده‌است:

$$P(A \cup (A \cap B)) = P(A)$$

رابطه ۴۶-۴

$$P(A \cap (A \cup B)) = P(A)$$

رابطه ۴۷-۴

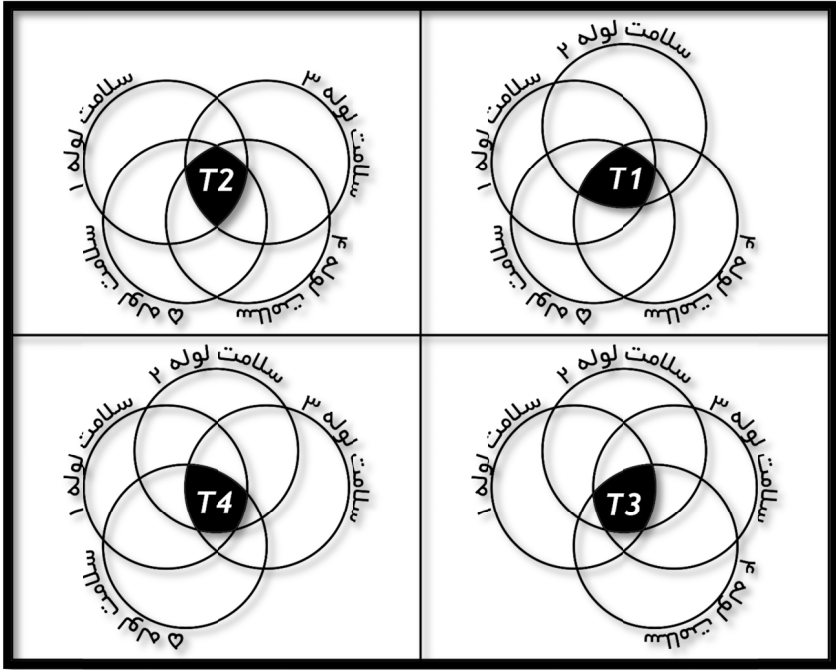


شکل ۴-۳۳- جذب اشتراک توسط اجتماع (سمت راست) و جذب اجتماع توسط اشتراک (سمت چپ)



Preview





شکل ۴-۴- نمودار ون برای مجموعه‌های پیوند در مثال سیستم انتقال آب

برای محاسبه‌ی احتمال درست کار کردن سیستم، می‌توان احتمال اجتماع مجموعه‌های پیوند را محاسبه نمود:

$$\begin{aligned} \text{System Reliability} &= P(T_1 \cup T_2 \cup T_3 \cup T_4) \\ &= P((W_1 \cap W_2 \cap W_4 \cap W_5) \cup (W_1 \cap W_3 \cap W_4 \cap W_5) \\ &\quad \cup (W_1 \cap W_2 \cap W_3 \cap W_4) \cup (W_1 \cap W_2 \cap W_3 \cap W_5)) \end{aligned}$$

رابطه ۴-۵۶

به‌خاطر استقلال حالت لوله‌ها از یکدیگر، احتمال اشتراک میان سالم بودن چند لوله، برابر با



Preview



حالا اگر زمان انتقال، یعنی Δt ، به صورت جزء دیفرانسیلی در نظر گرفته شود و به سمت صفر میل نماید، یک دستگاه معادلات دیفرانسیل درجه اول با چهار مجهول تشکیل خواهد شد:

$$\begin{bmatrix} dP_1/dt \\ dP_2/dt \\ dP_3/dt \\ dP_4/dt \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(\lambda_A + \lambda_B) & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_A & -\lambda_B & 0 & 0 \\ \lambda_B & 0 & -\lambda_A & 0 \\ 0 & \lambda_B & \lambda_A & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} \quad \text{رابطه ۴-۶۱}$$

که با حل این دستگاه و دانستن مقادیر اولیه، احتمال‌های P_1 ، P_2 ، P_3 و P_4 به دست می‌آیند. اگر چنین تصور شود که در زمان صفر، تمام قطعات سالم باشند، یعنی سیستم در وضعیت S1 باشد، شرایط اولیه چنین تعریف می‌شوند:

$$P_1(0) = 1, P_2(0) = P_3(0) = P_4(0) = 0 \quad \text{رابطه ۴-۶۲}$$

و جواب مسئله‌ی مقدار اولیه خواهد شد:

$$P_1(t) = e^{-(\lambda_A + \lambda_B)t}$$

$$P_2(t) = e^{-\lambda_B t} \cdot (1 - e^{-\lambda_A t})$$

$$P_3(t) = e^{-\lambda_A t} \cdot (1 - e^{-\lambda_B t})$$

$$P_4(t) = (1 - e^{-\lambda_A t}) \cdot (1 - e^{-\lambda_B t})$$

رابطه ۴-۶۳

و بدین صورت، در لحظه‌ی دلخواه t می‌توان با داشتن λ_A و λ_B احتمال قرارگیری سیستم در هریک از وضعیت‌ها را برآورد نمود.

۴-۴-۸- مقایسه‌ی تحلیل مارکوف با درخت خطا

در بعضی شرایط ممکن است مسئولان ارزیابی ریسک پروژه، خود را بر سر دوراهی استفاده از روش درخت خطا یا روش مارکوف ببینند. در مثال‌های زیر تلاش می‌شود مقایسه‌ای میان نحوه‌ی به‌کارگیری این دو روش ارائه شود:



Preview



۴-۴-۱۰- شبیه سازی مونته کارلو

۴-۴-۱۰-۱- مقدمه

شبیه‌سازی مونته‌کارلو روشی است که تلاش می‌کند با آزمودن مسیرها و ترتیب‌های گوناگونی که ممکن است اتفاق‌های پروژه رقم بخورند، حاصل اندرکنش عوامل مختلف پروژه را تخمین بزند. شبیه‌سازی مونته‌کارلو به‌خاطر به‌کارگیری این رویکرد، از دو منظر بر بسیاری از روش‌های تحلیل کمی ریسک برتری دارد و در موارد زیادی نیز به کمک سایر روش‌ها می‌آید. منظر نخست آن که ابهامات موجود در جهان واقعی، معمولاً اجازه نمی‌دهند پاسخی دقیق و شفاف به مسائل پروژه داده شود و از این روی، روش‌هایی که راه حلی دقیق و تعیینی را پی می‌گیرند، اعتبار خود را از دست می‌دهند.



شکل ۴-۵۱- جوشکاری اسکلت فلزی در ارتفاع



Preview



می‌شود. اگر در تولید ورودی‌های شبه تصادفی مشکلی وجود نداشته‌باشد، شبیه‌سازی مونته‌کارلو روشی ناریب خواهد بود و با میانگین گرفتن از داده‌های به‌دست آمده، مورد انتظارترین جواب که «امید ریاضی»^۱ نامیده می‌شود به‌دست می‌آید. البته همان‌طور که گفته‌شد، در بیشتر مسائل کافی نیست یا این که نمی‌توان به دنبال یک جواب یا محتمل‌ترین جواب بود، بلکه مدیران ریسک می‌خواهند بدانند هرکدام از محدوده‌ی جواب‌ها با چه احتمالی بروز خواهند کرد و شکل کلی جواب از چه توزیع احتمالاتی تبعیت خواهد کرد. مثلاً با توجه به ابهامات موجود در شرایط جوی، چقدر احتمال دارد جوشکاری اسکلت فلزی بیش از سه هفته به طول بیانجامد.

۴-۴-۱۰-۸- مثالی برای کاربرد روش مونته کارلو

برای فهم آسان‌تر روش مونته‌کارلو، در مثالی ساده، ضرب دو پارامتر که از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند بررسی می‌شود:

در یک عملیات حمل خاک، می‌بایست کامیونی با ظرفیت (C) میانگین ۹٫۵ متر مکعب با انحراف از معیار ۱ مترمکعب، ۱۲۰ متر مکعب خاک را حمل و در گود مجاز تخلیه نماید. این کامیون هر بار در مدت زمان (T) میانگین ۴۵ دقیقه با انحراف از معیار ۴ دقیقه به مقصد می‌رسد و باز می‌گردد. زمان‌های انتظار، بارگیری، دوزدن و تخلیه صفر در نظر گرفته شده، از ضریب فشردگی خاک نیز صرف‌نظر می‌شود. زمان لازم برای اتمام عملیات (t) از رابطه ۴-۷۶ به‌دست می‌آید:

$$t = \left\lceil \frac{120}{C} \right\rceil T$$

رابطه ۴-۷۶

که اگر در خاتمه‌ی کار، مثلاً ۳ متر مکعب خاک باقی مانده باشد، کامیون ناگزیر است یک

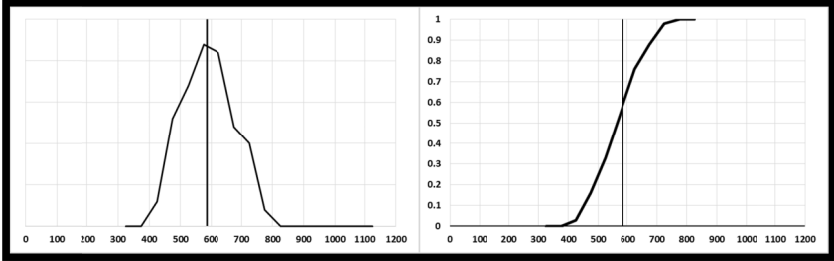
¹ Expected Value



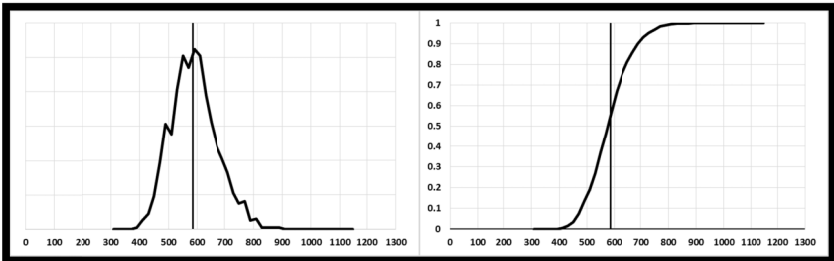
Preview



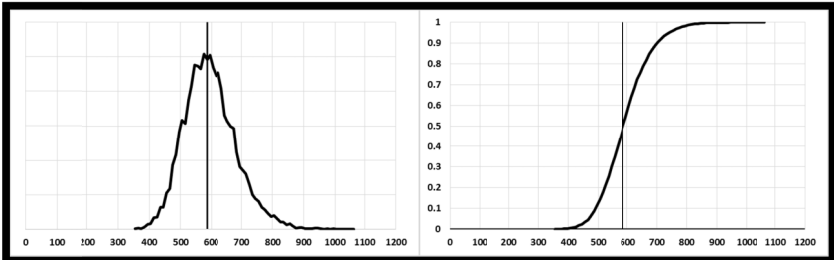
شوند. همچنین با دقت در شکل‌ها، می‌توان کشیدگی مختصر دنباله‌ی منحنی‌ها به راست، بخاطر به‌کار رفتن تابع سقف را مشاهده نمود.



شکل ۴-۶- سمت چپ: نمودار فراوانی جواب‌های حاصل از صد بار اجرای شبیه‌سازی مونتِه کارلو، سمت راست: تابع توزیع تجمعی احتمال



شکل ۴-۶۱- نمودار فراوانی و تابع توزیع تجمعی احتمال حاصل از هزار بار تکرار



شکل ۴-۶۲- نمودار فراوانی و تابع توزیع تجمعی احتمال حاصل از ده هزار بار تکرار

در واقع قانون خاصی برای این که چه تعداد شبیه‌سازی برای دستیابی به همگرایی مورد نظر باید انجام شود وجود ندارد. در کارهای معمولی مانند این مثال، تعداد هزار تکرار برای اطمینان از این که جواب‌ها از هرگونه آریبی آماری عاری هستند رایج است. همان‌طور که گفته شد، بیان‌های دقیق آماری تنها از روی نمودار تابع توزیع تجمعی (نمودارهای سمت راست) ممکن است و چنان که دیده می‌شود، این نمودارها پس از هزار تکرار تفاوت زیادی نکرده‌اند. به هر حال، امروزه برای یک تحلیل‌گر مبتدی نیز افزایش شبیه‌سازی‌ها تا ده هزار یا صد هزار تکرار، بیش از ده ثانیه زمان نخواهد برد.

۴-۴-۱۰-۹- انتگرال گیری به روش مونت کارلو

از شبیه‌سازی مونت کارلو همچنین می‌توان به عنوان جایگزینی کارآمد برای روش‌های عددی رایج در حل مسائل دشوار ریاضی استفاده نمود. به عنوان مثال، برای محاسبه انتگرال معین تابعی با ضابطه‌ی مشخصی که ضابطه‌ی انتگرال نامعین آن قابل محاسبه نیست، روش‌های عددی فراوانی وجود دارند که شرح الگوریتم‌های آن‌ها در کتاب‌های ریاضی عمومی ۱ و ۲ آمده‌است.

روش مونت کارلو، برای محاسبه‌ی انتگرال نامعین، به این مبنا توجه می‌کند که انتگرال، عبارت از «سطح زیر منحنی» است. بنابراین تلاش می‌کند تعداد زیادی نقطه را در صفحه‌ی مختصات بیافشاند و تعداد نقطه‌هایی که درون «سطح زیر منحنی» مورد نظر می‌افتند را بشمارد. مانند کمانداری که بخواهد n تیر به سمت مستطیل شکل ۴-۶۴ پرتاب نماید. تعدادی از تیرها به ناحیه‌ی هدف برخورد می‌کنند و تعدادی از تیرها در ناحیه‌ی خطا فرود می‌آیند. اگر فرض شود که تیرها از زمان رها شدن تا نشستن روی مستطیل، مسیرهایی کاملاً تصادفی را می‌پیمایند و همچنین، تمام تیرها درون مستطیل فرود می‌آیند، مساحت ناحیه‌ی هدف، از نسبت تیرهای نشسته در ناحیه‌ی هدف به کل تیرها ضرب در مساحت

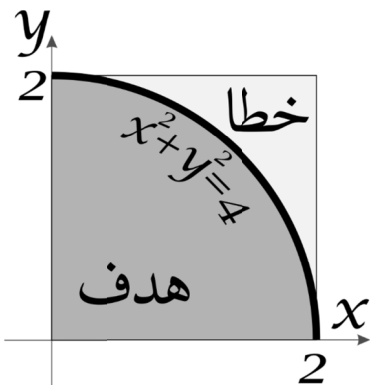


Preview



۴-۴-۱۰-۱۰-مثالی برای انتگرال‌گیری مونتہ کارلو

مثالی ساده و معروف برای انتگرال‌گیری به روش مونتہ کارلو، محاسبه‌ی انتگرال $\int_0^2 \sqrt{4-x^2} dx = \pi$ است. در این مثال، تعداد زیادی زوج عدد شبه تصادفی، با توزیع



یکنواخت در بازه‌ی $[0,2]$ تولید می‌شوند، سپس در هر زوج بررسی می‌شود که اگر $x^2 + y^2 \leq 4$ برقرار باشد، تیر به هدف خورده‌است، در غیر این صورت، به خطا رفته است. (شکل ۴-۶۵).

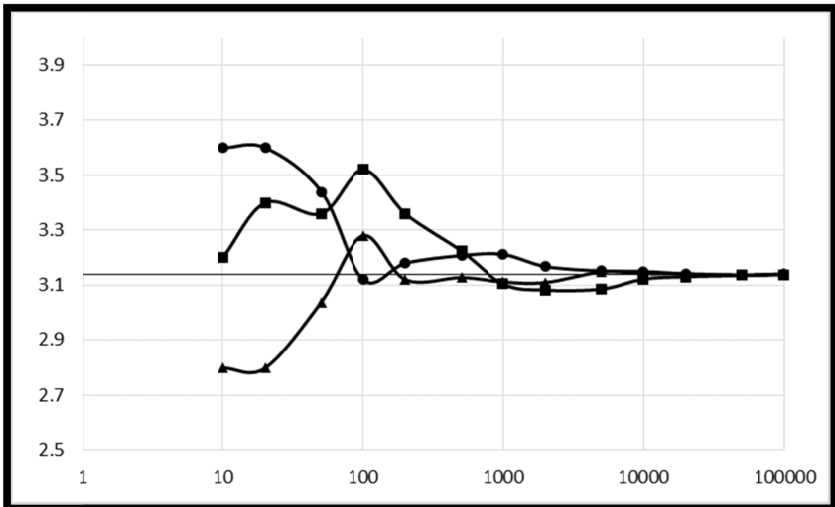
شکل ۴-۶۵- محاسبه‌ی سطح زیر منحنی ربع دایره به روش مونتہ کارلو

سپس نسبت تعداد تیرهای به هدف خورده به کل تیرها محاسبه، در مساحت کل مربع $[0,2] \times [0,2]$ ضرب و بدین ترتیب سطح زیر منحنی تخمین زده می‌شود. جدول ۴-۳۴ نتایج محاسبه‌ی انتگرال به روش مونتہ کارلو را در تعداد شبیه‌سازی‌های مختلف نشان می‌دهد. شکل ۴-۵۲ نیز نوسان جواب را در سه دفعه تکرار روند شبیه‌سازی نشان می‌دهد، که با افزایش تعداد شبیه‌سازی‌ها، همه‌ی روندها به عدد ۳,۱۴ همگرا خواهند شد.

چنان‌که دیده‌شد، شبیه‌سازی مونتہ کارلو روشی قدرتمند است که در آن لازم نیست تحلیل‌گر، اطلاعات جامعی از روش‌های پیچیده‌ی ریاضی داشته‌باشد. البته انتخاب روش مونتہ کارلو برای حل یک مسئله، به نوع مسئله، ابزارهای در دست و سلیقه‌ی شخصی فرد تحلیل‌گر بستگی دارد، ولی با پیشرفت و همه‌گیری فناوری‌های رایانه‌ای در دهه‌های گذشته، دغدغه‌ی وقت و هزینه‌ی محاسبات تکراری از بین رفته‌است و ابزار لازم برای انجام این روش در همه‌ی کارگاه‌ها قابل دسترس است.

جدول ۴-۳۴ - نتایج شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای محاسبه‌ی سطح زیر منحنی ربع دایره‌ای به شعاع ۲

تعداد شبیه‌سازی (تعداد کل نقاط)	تعداد نقاط موجود در ربع دایره	برآورد انتگرال (حاصل از ۴ برابر نسبت دو ستون)
۱۰	۸	۳,۲۰
۲۰	۱۶	۳,۲۰
۵۰	۳۷	۲,۹۶
۱۰۰	۷۶	۳,۰۴
۲۰۰	۱۵۹	۳,۱۸
۵۰۰	۴۰۳	۳,۲۲
۱۰۰۰	۷۷۶	۳,۱۰
۲۰۰۰	۱۵۳۴	۳,۰۷
۵۰۰۰	۳۸۷۶	۳,۱۰
۱۰۰۰۰	۷۷۹۲	۳,۱۲
۲۰۰۰۰	۱۵۶۵۱	۳,۱۳
۵۰۰۰۰	۳۹۳۹۱	۳,۱۵
۱۰۰۰۰۰	۷۸۵۷۲	۳,۱۴



شکل ۴-۶۶ - همگی روندهای شبیه‌سازی با افزایش تعداد نقطه‌ها به ۳,۱۴ همگرا می‌شوند.

۴-۴-۱۱- تحلیل ریسک لرزه‌ای

برای بیان ابعاد یک زلزله، از مفاهیم متفاوتی استفاده می‌شود. به عنوان مثال، «بزرگی»^۱ بیان کننده‌ی میزان انرژی آزادشده در زلزله است و اصطلاحاً با مقیاس ریشتر^۲ همراه می‌شود و «شدت»^۳ زلزله، از روی میزان خرابی ایجاد شده در آن و معمولاً با مقیاس مرکالی^۴ تعیین می‌شود. اما آنچه در «تحلیل ریسک» خرابی ناشی از زلزله به کار می‌آید، میزان شتابی است که زلزله‌ای محتمل می‌تواند به سازه‌ای که در فاصله و موقعیتی خاص نسبت به مرکز وقوع آن قرار دارد، وارد کند.

مهم این است که بدانیم در نزدیکی کارگاه مورد نظر، چه منابعی، با چه بزرگی و احتمالی، می‌توانند زلزله ایجاد کنند و در اثر این زلزله‌های احتمالی، سازه چه شتابی را دریافت می‌کند. این شتاب عموماً به نسبت شتاب قائم گرانش زمین، g ، بیان می‌شود و «بیشترین شتاب زمین» (PGA)^۵ نام دارد. نتایج تحلیل‌های مقدماتی و جامعی که برای شهرهای مختلف کشور صورت گرفته‌است، در ضمایم آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ و مبحث ششم مقررات ملی ساختمان آمده‌است. همچنین نقشه‌های دقیق‌تری نیز با عنوان پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای مناطق مختلف کشور در حال تدوین است. این نقشه‌ها معمولاً برای دو سطح احتمال فراگذشت^۶ ۱۰ درصد و ۲ درصد، (معادل شتاب حاصل از زلزله‌ی مبنای طرح^۷ و حداکثر زلزله‌ی محتمل^۸، یعنی زلزله‌ای که به ترتیب هر ۴۷۵ سال و هر ۲۴۷۵ سال رخ می‌دهد،

¹ Magnitude

² Richter

³ Intensity

⁴ Mercalli

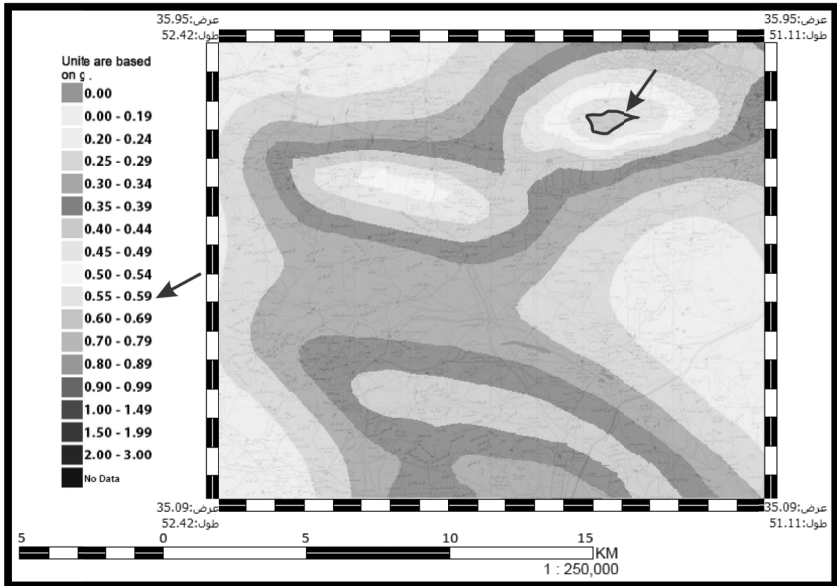
⁵ Peak Ground Acceleration (PGA)

⁶ Probability of Exceedance

⁷ Design Basis Earthquake (DBE)

⁸ Maximum Probable Earthquake (MPE)

برای ساختمانی با عمر مفید ۵۰ سال ترسیم می‌شوند. به عنوان مثال، رنگ نارنجی روی این نقشه‌ها می‌تواند بیان‌گر این باشد که «با احتمال ۱۰ درصد، در طول عمر ۵۰ ساله‌ی یک ساختمان، زلزله‌ای در منطقه رخ خواهد داد که شتابی بیش از $0.55g$ به آن وارد نماید (شکل ۴-۶۷).



شکل ۴-۶۷ - نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زلزله در غرب استان تهران، عمر مفید ۵۰ سال، احتمال فراگذشت ۱۰ درصد

جایی که اطلاعات چنین نقشه‌هایی ناموجود یا ناقص باشد، یا آن که عمر مفید سازه بیش از ۵۰ سال باشد، لازم است از تحلیل ریسک احتمالاتی^۱ یا تحلیل ریسک تعیینی^۲ استفاده شود. برای این کار، ابتدا می‌بایست منابع زمین‌لرزه‌ها در اطراف محدوده‌ی مورد نظر شناسایی شوند. گسل‌ها می‌توانند منبعی برای ایجاد زلزله باشند. همچنین تاریخچه‌ی

^۱ Probabilistic Risk Analysis

^۲ Deterministic Risk Analysis



Preview





شکل ۴-۷۰- برج ساعت شهر فینال امیلیا که در زلزله‌ی ماه مه ۲۰۱۲ در شمال ایتالیا خراب شد. (تلگراف، ۲۰۱۲)

در این دو زلزله و پس‌لرزه‌های آن‌ها، ۲۶ نفر کشته شدند و بیشتر آثار باستانی شهر فینال به شدت آسیب دیدند. در شکل ۴-۷۰ یکی از برج‌های ساعت این شهر، یعنی توره‌دلورولاجو^۱، دیده می‌شود که پس از زلزله‌ها به طور کامل تخریب شد.

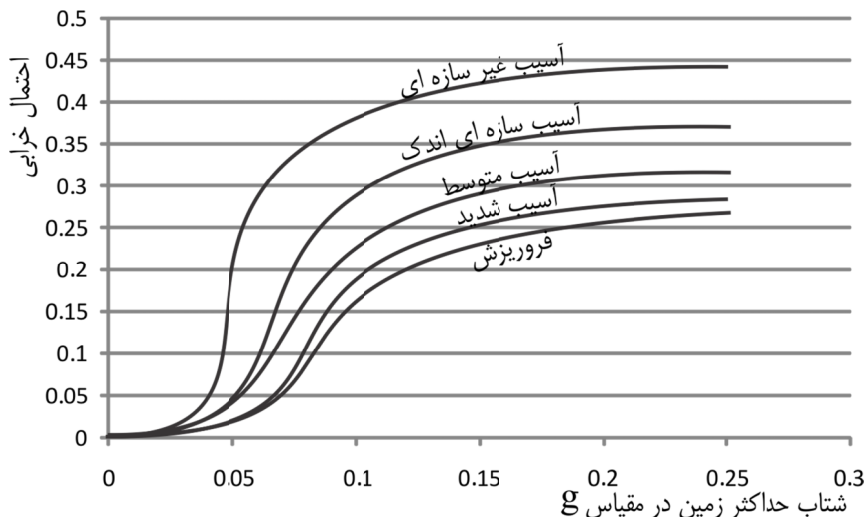
- کیفیت ثبت تاریخچه‌ی زلزله‌ها متأثر از اراده و فناوری موجود در زمان وقوع‌شان

^۱ La Torre dell'Orologio



Preview





شکل ۴-۱۲-۷۳- منحنی‌های شکنندگی برای قاب شماره ۲ در پروژه‌ی میناب

۴-۴-۱۲- تحلیل ریسک‌های زیست‌محیطی

۴-۴-۱۲-۱- مقدمه

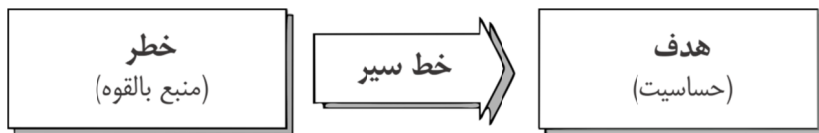
در این قسمت، به تحلیل ریسک‌های زیست‌محیطی می‌پردازیم، اما با توجه به اهمیت خاصی که ریسک‌های زیست‌محیطی برای پروژه‌ها دارند، یک بار دیگر برخی اصول مدیریت ریسک را، این بار با دیدگاه زیست‌محیطی تکرار می‌کنیم. ممکن است برخی مفاهیم مدیریت ریسک که در این قسمت بیان شده‌اند، مانند ارتباطات ریسک پروژه، در مراحل اولیه از مدیریت ریسک قرار داشته‌باشند که در فصل‌های آینده‌ی کتاب خواهند آمد، بنابراین به خوانندگان پیشنهاد می‌شود پس از مطالعه‌ی کل کتاب، بار دیگر مطالب این قسمت را مطالعه نمایند.

بسیاری از پروژه‌ها و فعالیت‌های صنعتی مرتبط با آن‌ها، ریسک‌هایی را برای محیط زیست ایجاد می‌کنند و موضوعات زیست‌محیطی، اگر به صورت مقتضی مورد توجه قرار نگیرند،



Preview





شکل ۴-۷۵ - خطرها، خط سیر و اهداف



شکل ۴-۷۶ - آلودگی از منبع دودکش بر می‌خیزد و از مسیر هوا به هدف که منازل مسکونی باشند می‌رسد.

این آرایش ساده، برای شناسایی ریسک‌ها ساختار پایه‌ای را علاوه بر آنچه در جدول ۴-۳۹ و جدول ۴-۴۰ آمده‌است فراهم می‌کند، ضمن آن‌که کارشناسان را نیز به تفکر درباره‌ی چگونگی بروز یک ریسک و نوع آثاری که ممکن است ایجاد نماید هدایت می‌کند. همچنین، قسمت مسیر معمولاً نشان‌دهنده‌ی موانعی که ممکن است در روند ارزیابی و علاج خطر شناسایی شوند نیز هست. جدول ۴-۴۱ مثال‌هایی را از منابع، مسیرها، موانع، هدف‌ها و انواع تأثیرات بالقوه‌ی زیست‌محیطی که ممکن است رخ دهند را نشان می‌دهد. در برخی موقعیت‌ها، تعاملات چندگانه نیز ممکن است مهم باشند.

دو دسته‌ی مهم از خطرهای زیست‌محیطی مرتبط با ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی، خطرهای فیزیکی و شیمیایی هستند. به‌رحال ممکن است که به‌عنوان فهرستی جامع‌تر،

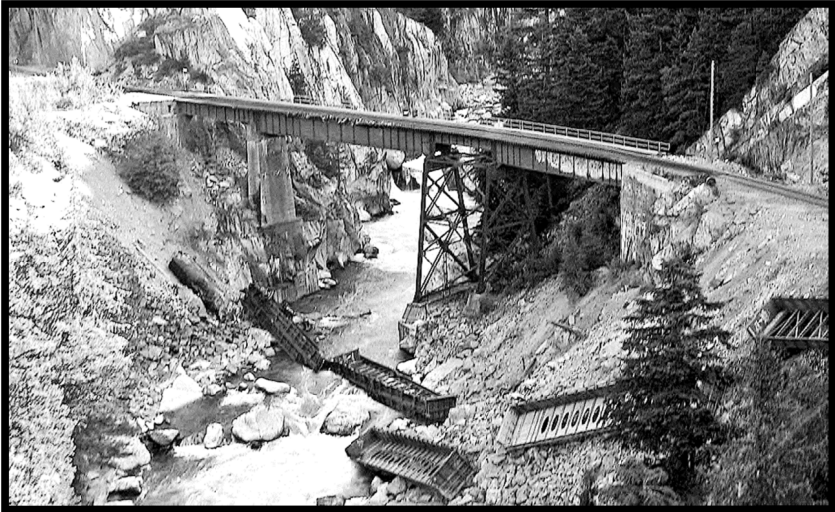


Preview



- سیستم‌های ایمنی و حفاظتی
- نگهداری پیش‌گیرانه
- فرآیندهای رسمی و رویه‌های تضمین کیفیت
- بازننگری عملیات
- رسیدگی و بازرسی منظم
- ارتقای آموزش‌ها و مهارت‌ها

مثال: پس از سقوط ۹ واگن از ۱۴۴ واگن یک قطار باری حامل سود سوزآور^۱ در رودخانه‌ی چیکاموس^۲، که باعث ورود ۴۰ هزار لیتر هیدروکسید سدیم به آن و مرگ بیش از نیم میلیون ماهی شد، وزیر راه کانادا دستور داد حد مجاز قطارهای طولی باری که از آن منطقه عبور می‌کنند به ۸۰ واگن کاهش یابد.



شکل ۵-۲، سقوط ۹ واگن حامل سود سوز آور در رودخانه‌ی چیکاموس در آگوست سال ۲۰۰۵

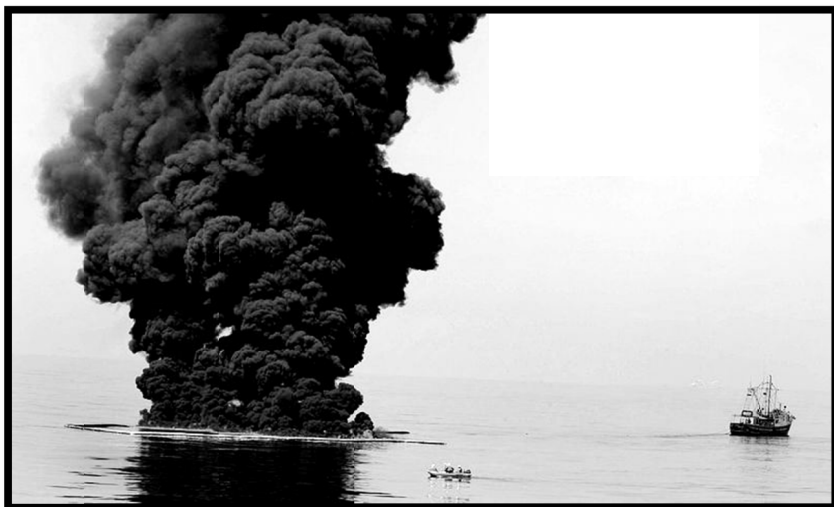
¹ Caustic Soda (Sodium Hydroxide)

² The Cheakamus River, BC, Canada



Preview





شکل ۵-۹- ایجاد آتش‌سوزی‌های کنترل‌شده برای از بین بردن لکه‌های نفتی

۵-۹- استفاده از اطلاعات ریسک ذاتی و مورد توافق

اولویت‌بندی‌های مورد توافق (پس از سنجش ارزیابی) و اولویت‌بندی‌های ذاتی (پیش از کنترل‌های علاجی) مرتبط با هر ریسک (که در فصل قبل بحث شده‌است) رهنمود بیشتری برای اقدامات علاجی ارائه می‌کنند. جدول ۵-۱ و توضیحات تفصیلی زیر، مفاهیم علاج ریسک را بیان می‌کنند.

جدول ۵-۱- اقدامات مدیریتی

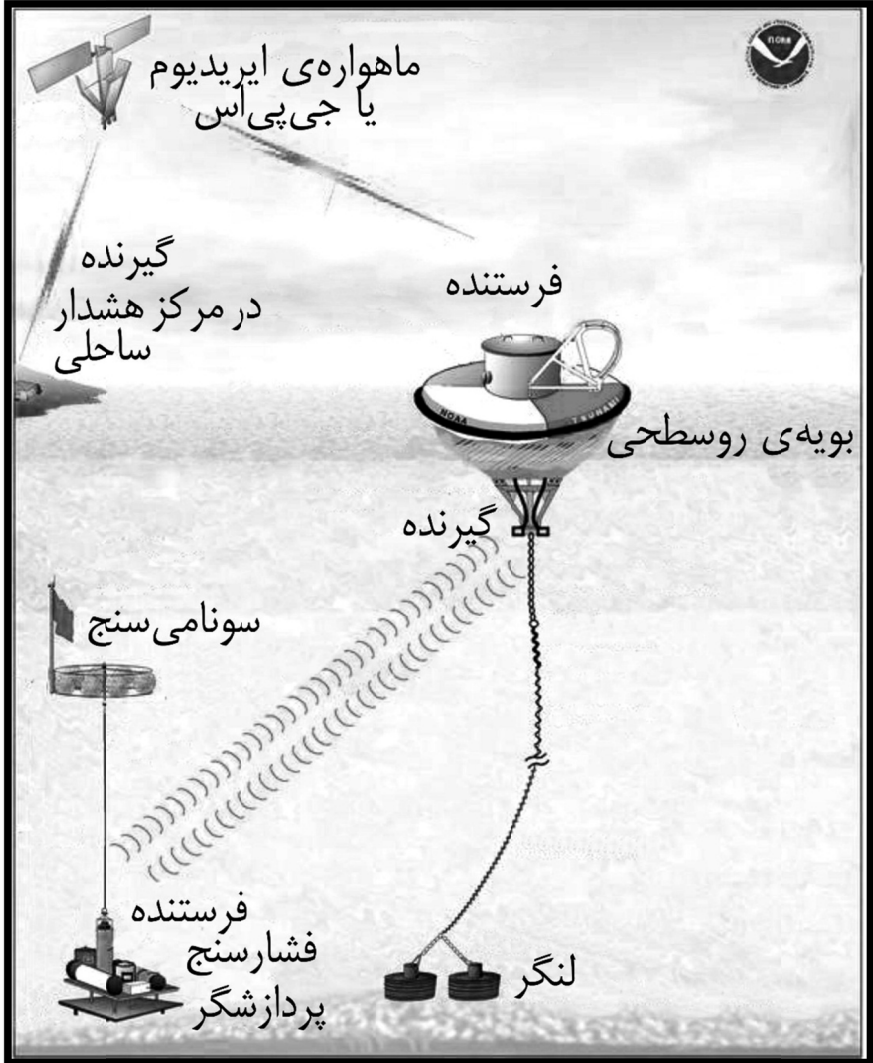
اولویت مورد توافق			
ریسک ذاتی	فوق العاده یا زیاد	متوسط	کم
فوق العاده یا زیاد	الف	ب	ب
متوسط	*	پ	ت
کم	*	*	ث



Preview



مطمئنی از این دست سازه‌ها تعبیه شود.



شکل ۵-۱۱- نمایش مفهومی سیستم تشخیص و هشدار سونامی DART.



شکل ۵-۱۲- برج جان‌پناه در برابر سونامی (فیما، ۲۰۰۸)



Preview





شکل ۵-۱۶- هجوم آب مخزن سد تیتون در سال ۱۹۷۶

در روزهای ۳ و ۴ ژوئن ۱۹۷۶، سه چشمه‌ی کوچک در پایین دست سد پدیدار شد و نشست‌های خفیفی در بدنه‌ی سد مشاهده شد که طبیعی به نظر می‌نمود. صبح روز ۵ ژوئن، قسمتی از سد شروع به نشست شدید کرد و جریانی بیش از ۰٫۵ متر مکعب آب در ثانیه را همراه با مصالح سد به بیرون فرستاد. تا نزدیک ظهر تعدادی کارگر مأمور ترمیم این نقطه با بولدوزر شدند، اما موفق نمی‌شدند. کم‌کم رسانه‌ها جمع شده بودند و دستور تخلیه‌ی منازل پایین دست صادر شد. با وسعت یافتن شکاف، کارگران مجبور به حفظ جان خود شدند و آب، بولدوزرها را با خود برد. دقایقی بعد، تاج سد به درون مخزن افتاد، کل قسمت شمالی سد فروریخت (شکل ۵-۱۶) و تمام ۵۷۰۰۰ متر مکعب آب ذخیره شده در آن تخلیه شد. در این حادثه ۱۱ نفر جان خود را از دست دادند، ۴۰۰۰ هزار خانه ویران شد،



Preview



هیچ موجی نمی‌تواند به سرریز شدن آب از روی سد بیانجامد.

البته آن‌ها با این تصور که به هنگام زمین لغزش، با پایین آوردن سطح آب می‌توانند شدت امواج را کنترل کنند، آب را بیش از این حد پر کردند تا آن که در ۱۵ دسامبر ۱۹۶۳، جدار کوه ۲۲ سانتی‌متر رانش نمود. با این اتفاق، مهندسین تصمیم گرفتند که ارتفاع آب را به آرامی تا ۲۴۰ متر پایین بیاورند.

برخی کارشناسان معتقدند آبگیری و تخلیه‌ی چندباره‌ی مخزن سد ویون موجب تغییر چندباره‌ی منحنی تراز آب در کوه توک و برانگیختن زمین لغزش‌ها شده‌است. (پارونوتزی و همکاران، ۲۰۱۲)

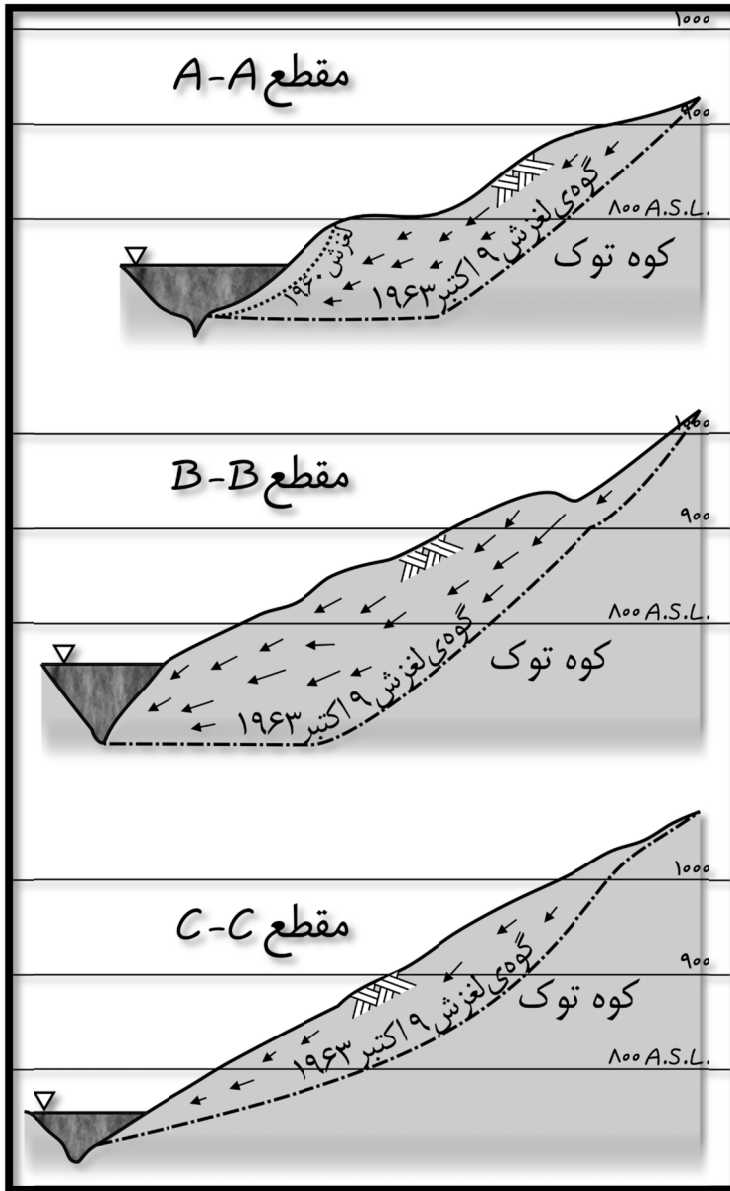
اما کمتر از یک ماه بعد، یعنی در نهم اکتبر ۱۹۶۳، لایه‌ای ضخیم از تمام جدار کوه توک^۱ در کمتر از یک دقیقه به دریاچه فروریخت و مخزن سد را تقریباً پر کرد که باعث شد آب مخزن تا ارتفاع ۲۵۰ متر بالاتر از تاج سد پرتاب شود و آبی با هد بیش از ۵۰۰ متر بر سر مردم لونگارونی^۲ و روستاهای اطراف فرود آید.

شکل ۳-۶ منحنی گسست گوه‌ی لغزش را در سه مقطع مشخص شده در شکل ۲-۶ نشان می‌دهد. در هر کدام از مقاطع، تراز آب مخزن سد نیز مشخص شده‌است. همچنین در مقطع A-A، منحنی گسست یکی از لغزش‌های پیش از لغزش فاجعه آفرین نیز نشان داده شده‌است. در این شکل، کدهای ارتفاعی درج شده نسبت به سطح دریا هستند.

در این حادثه هفت روستا به کلی شسته شدند، منطقه با لایه‌ای از گل پوشیده شد و در حدود ۲۰۰۰ نفر جان خود را از دست دادند. سد ویون که جدار بتنی آن سالم است، در حال حاضر بدون استفاده باقی مانده‌است.

¹ The Monte Toc

² Longarone



شکل ۶-۳- منحنی گسست گوهی لغزش کوه توک در اکتبر ۱۹۶۳ (برگرفته از چودری، ۱۹۷۸، کیلیبرن و پتلی، ۲۰۰۳)

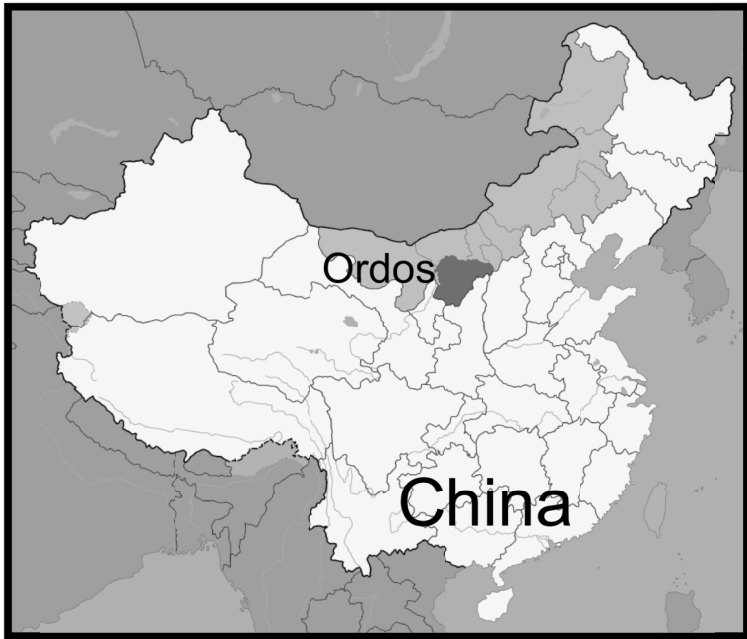


Preview



همچنان خالی از سکنه هستند.

پروژه‌ی احداث شهر جدید کانگ باشی^۱ در زمینی به مساحت ۳۵۵ کیلومتر مربع در منطقه‌ی اوردوس^۲، برای اسکان یک تا یک و نیم میلیون نفر از جمعیت متوسط منطقه، که پیش‌بینی می‌شد با ادامه‌ی شکوفایی اقتصادی به اقشار پر درآمد تبدیل شوند، از سال ۲۰۰۳ آغاز شد (شکل ۲-۷ و شکل ۳-۷).



شکل ۲-۷- موقعیت اوردوس در شمال چین

همزمان با ساختمان‌های ویلایی و برج‌های مسکونی و تجاری این شهر، امکانات رفاهی و جانبی متنوعی همچون آثار هنری، موزه، پارک، رستوران، فروشگاه‌های

^۱ Kangbashi New Area

^۲ Ordos City, China

برند، مدرسه و مهدکودک نیز در نقاط مختلف ساخته شد تا شرایط زندگی مناسبی برای ساکنین جدید فراهم گردد. با این توصیف، سوداگران سرمایه و دلال‌های مسکن، بخش عمده‌ای از واحدهای مسکونی این شهر را به تملک خود درآوردند تا بتوانند در آینده با فروش آن‌ها سود زیادی به دست آورند. پیشرفت پروژه در سال ۲۰۱۰ به کاربری ۳۵ کیلومتر مربع و گنجایش ۳۰۰ هزار نفر رسید، اما پس از آغاز بهره‌برداری، مسئولین پروژه نتوانستند مردم را برای مهاجرت به کانگ باشی راضی کنند و درصد بسیار کمی از ساختمان‌ها به طور دائم پر شد. عمده‌ی مهاجرین شهر جدید را ادارات دولتی، کارکنان خود پروژه و برخی خدمات مانند رستوران‌ها و هتل‌ها تشکیل می‌دهند.



شکل ۷-۳- احداث برج‌های مسکونی شهر جدید کانگ باشی (بروکینگز، ۲۰۱۰)

بنابراین در حال حاضر پروژه‌ی یکصد و شصت میلیارد دلاری احداث این شهر جدید به شکست انجامیده است و کانگ باشی در فهرست شهرهای خالی از



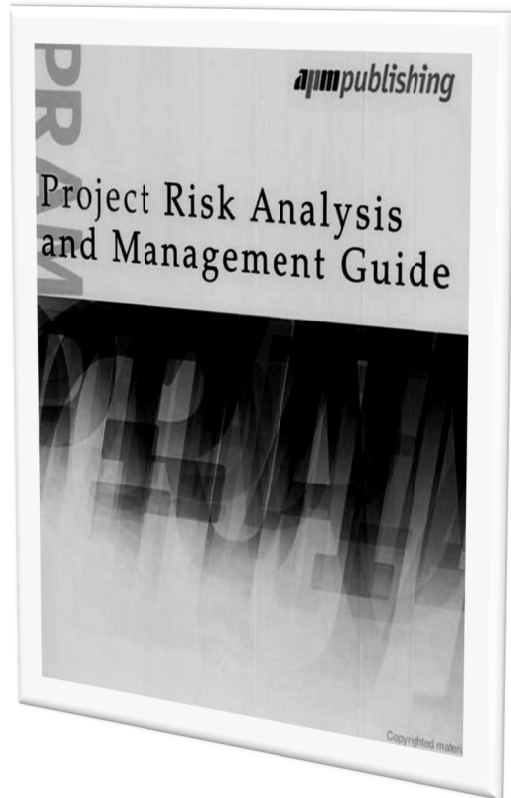
Preview



۱۱-۴- راهنمای PRAM

شکل ۱۱-۶- راهنمای PRAM (۲۰۰۴)

راهنمای «تحلیل و مدیریت ریسک پروژه»، یک راهنمای مستقل مدیریت ریسک پروژه است. این راهنما تعمداً فرآیند مدیریت ریسک را از اصول یا روش‌های مشروحاتی که ممکن است برای اجرای مراحل مختلف آن استفاده شوند جدا می‌نماید. این راهنما در قالب یک ساختار مدیریت پروژه نوشته شده‌است و به فرآیندها و مسئولیت‌های لازم برای



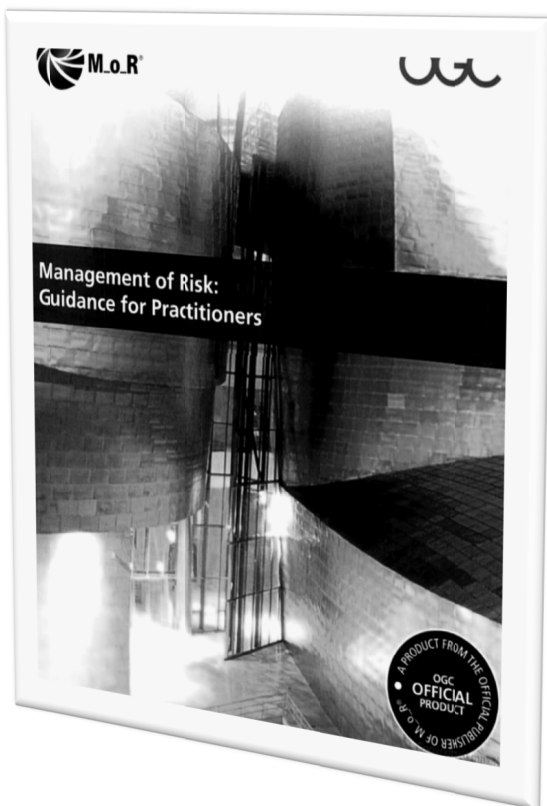
مدیریت آن‌ها می‌پردازد. این راهنما برای اصول هر یک از مراحل فرآیند مدیریت ریسک، مثال‌هایی ارائه می‌کند. جمعی که این راهنما را نوشته‌اند شامل دست‌اندرکاران، مشاوران و دانشگاهیان بوده‌است. اصل مطالب به خوبی ساختار یافته است و به راحتی می‌توان آن را دنبال نمود.

شکل ۱۱-۵ مراحل اصلی و جریان اطلاعات را در فرآیند راهنمای «تحلیل و مدیریت ریسک پروژه» نشان می‌دهد.

۱۱-۵- راهنمای MoR

شکل ۱۱-۷- راهنمای MoR
(۲۰۱۰)

راهنمای «مدیریت ریسک» برای سازمان‌های بخش دولتی نوشته شده‌است و به تمام ریسک‌های مختل موفقیت سازمان می‌پردازد و شامل راهنمایی‌هایی درباره‌ی فرآیند مدیریت ریسک، ساختار مدیریت، نقش‌ها و مسئولیت‌ها در کنار چک‌لیست‌هایی برای کمک به مراحل مختلف کار است. این



راهنما کاربرد مدیریت ریسک را از سطح راهبردی شامل مشارکت دولتی تا طرح‌ها، پروژه‌ها و عملیات تشریح می‌کند. در راهنمای «مدیریت ریسک» تأکید زیادی بر ساختار سازمانی و چارچوب مدیریتی که مدیریت ریسک در آن انجام می‌شود وجود دارد که منعکس‌کننده‌ی



Preview



فهرست منابع و مراجع

1. APM, "Project Risk Analysis and Management Guide (PRAM)", 2nd edition, APM Publishing Limited, Buckinghamshire, 2004, ISBN 1-903494-12-5
2. ASDSO, " Dam Failures and Incidents", Association of State Dam Safety Officials, 2013, <http://www.damsafety.org/news/?p=412f29c8-3fd8-4529-b5c9-8d47364c1f3e>
3. Bildner, Eli, "Ordos: A Ghost Town That Isn't", The Atlantic, 2013, <http://www.theatlantic.com/china/archive/2013/04/ordos-a-ghost-town-that-isnt/274776/>
4. Brookings Institution, "Population and GDP of Chinese Provinces", 2010, <http://www.brookings.edu/research/essays/2013/new-players-on-the-world-stage>
5. Chowdhury, R., "Analysis of the Vajont Slide New Approach", Rock Mechanics, 11, 29--38 (1978)
6. Cooper, Dale F., Grey, Stephen, et al., "Project Risk Management Guidelines Managing Risk in Large Projects and Complex Procurements", 2nd edition, John Wiley & Sons Ltd, 2007
7. Denver Post, "Canada overpass collapse kills five", The Denver Post Nation World, 2006, http://www.denverpost.com/nationworld/ci_4428262
8. Dhillon, Balbir S., "Mining Equipment Reliability, Maintainability, and



Preview



52. Schuyler John, Risk and Decision Analysis in Projects, Cases in project and program management series", 2nd Edition, Project Management Institute Inc., Pennsylvania, 2001, ISBN: 1-880410-28-1
53. Smith, Nigel J., Merna, Tony, Jobling, Paul, "Managing Risk in Construction Projects", Second edition, Blackwell Publishing (Newgen Imaging Systems (P) Ltd), Chennai, 2006, ISBN-13: 978-1-4051-3012-7
54. Styer, Daniel F., "The Strange World of Quantum Mechanics", Cambridge University Press, Cambridge, 2000, ISBN 0 521 66780 1
55. TechNewsDaily Staff, " Inflatable Plug Could Have Stopped NYC Subway Flooding", TechNewsDaily, 2012, <http://www.technewsdaily.com/15296-plug-nyc-subway-flooding.html>
56. Timothy Hughes, "Baldwin Hills Reservoir dam disaster", <http://www.rarenewspapers.com/view/560690>
57. Topper, David R., "How Einstein Created Relativity out of Physics and Astronomy", Springer, New York, 2013 ISBN 978-1-4614-4781-8
58. Tung Yeou-Koung , Yen, Ben-Chie, Melching, C., "Hydrosystems Engineering Reliability Assessment and Risk Analysis", McGraw-Hill, 2005
59. Wells, Donald L., Coppersmith, Kevin J., "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 4, pp. 974-1002, August 1994
60. XinhuaNet, "China's police chief calls for thorough investigation on cause of Shanghai high-rise fire" , 2010-11-16, <http://news.xinhuanet.com>
61. Yoe, Charles, "Primer on Risk Analysis Decision Making Under Uncertainty", Taylor & Francis Group CRC Press, Boca Raton, 2011
62. Zio, Enrico, "An Introouction to the Basics of Reliability and Risk Analysis, Series on Quality Reliability and Engineering Statistics", World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2007, ISBN-I 3 978-981-270-639-3

Biased----- اریب
 Strategy ----- استراتژی
 Project Documents --- اسناد پروژه
 اصول احتمالات
 Axioms of Probability -----
 Urgent, Emergency ----- اضطراری
 Reliability ----- اعتماد پذیری
 Economic----- اقتصادی
 Contingency ----- اقتضایی
 Actions----- اقدامات
 Expected Value ----- امید ریاضی
 Risk Transfer ----- انتقال ریسک
 Project Delivery----- انجام پروژه
 Deviation----- انحراف
 Reserve ----- اندوخته
 Tributary ----- انشعاب
 Priority----- اولویت
 Prioritizing ----- اولویت بندی
 Safety ----- ایمنی
 Recursive----- بازگشتی
 Residual----- باقی مانده
 Actual----- بالفعل

فهرست واژگان

Event ----- اتفاق
 Basic Event----- اتفاق پایه
 Conditional Event --- اتفاق شرطی
 House Event----- اتفاق قلعه
 اتفاق کنکاو نشده
 Undeveloped Event-----
 Middle Event ----- اتفاق میانی
 Social----- اجتماعی
 Avoidance----- اجتناب
 Key Elements----- اجزای اصلی
 Probability ----- احتمال
 Probabilistic ----- احتمالاتی
 Communication----- ارتباطات
 Assessment----- ارزیابی

Consequence	پیامد	Potential	بالقوه
Complexity	پیچیدگی	Potential	بالقوه
Complicated	پیچیده	Estimate	برآورد
Event	پیشامد	Rise	برخاستن
Progress	پیشرفت	Enumerating	برشماری
Forward	پیشرو	Planning	برنامه ریزی
Survey	پیمایش	Action Plan	برنامه ی اجرایی
Continuous	پیوسته	Rise	بروز
Ceiling Function	تابع سقف	Large	بزرگ
Historical	تاریخی	Maturity	بلوغ
Effect	تأثیر	Budget	بودجه
Impact	تأثیر	Best Value	بهترین مقدار
Empirical	تجربی	Operation	بهره برداری
Equipment	تجهیزات	Bow Tie	پاپیون
Analysis	تحلیل	Response	پاسخ
Demolition	تخریب	Monitoring	پایش
Allocation	تخصیص	Basic	پایه ای
Estimate	تخمین	Risk Retention	پذیرش ریسک
Procurement	تدارک و تامین	Questionnaire	پرسشنامه
Develop	تدوین	Project	پروژه
Combination	ترکیب	Backward	پس رو
Tolerance	تسامح	Support	پشتیبانی

Criticality-----	حساسیت	Risk Sharing-----	تسهیم ریسک
Premium -----	حق بیمه	Aleatory, Random-----	تصادفی
Basin-----	حوضه	Variability-----	تغییرپذیری
Failure -----	خرابی	Reducible -----	تقلیل پذیر
Internal-----	داخلی	Iterative-----	تکرار شونده
Rating-----	درجه بندی	Frequency -----	تواتر
	درخت اشتباهات و ریسک‌های مدیریتی		توزیع پیوسته
MORT -----		Continuous Distribution -----	
Fault Tree -----	درخت خطا	Discrete Distribution	توزیع گسسته
And Gate -----	دروازه ی و	Descriptive -----	توصیفی
Or Gate -----	دروازه یا	Threat-----	تهدید
	دروازه یای حدنصابی	Theory -----	تئوری
Voting Gate, Volume Gate -----		Permutation -----	جایگشت
	دروازه یای مانعه‌الجمع	Risk Register --	جدول ثبت ریسک
Exclusive Or Gate -----		Framework -----	چارچوب
Receive -----	دریافت	Vision -----	چشم انداز
Delphi-----	دلفی	Check List-----	چک لیست
Mutually -----	دو به دو	Acute -----	حاد
Inherent -----	ذاتی	State Enumeration--	حالت شماری
Subjective -----	ذهنی	States -----	حالتها
Stakeholders -----	ذی‌نفعان	Perceived -----	حس شده
Strategy -----	راهبرد	Audit -----	حسابرسی
Occurrence -----	رخداد		

Conditional -----	شرطی	Psychology -----	روان‌شناسی
Conditional -----	شرطی	Process -----	روند
Failure -----	شکست	Event -----	رویداد
Fragility -----	شکنندگی	Approach -----	رویکرد
Identification -----	شناسایی	Procedure -----	رویه
Risk Factor -----	ضریب ریسک	Risk -----	ریسک
Weakness -----	ضعف	Secondary Risk -----	ریسک ثانویه
Overflow -----	طغیان	Risky -----	ریسکی
Brainstorming -----	طوفان فکری	Richter -----	ریشتر
	عدد اولویت ریسک	Scheduling -----	زمان بندی
Risk Priority Number -----		Environmental -----	زیست محیطی
Risk Number -----	عدد ریسک	Construction -----	ساخت و ساز
Uncertainty -----	عدم قطعیت		ساختار شکست کار
Treatment -----	علاج	WorkBreakdownStructure -----	
Cause -----	علت	Tailings Dam -----	سد پسماند
Operator -----	عملگر	Scenario -----	سناریو
Factors -----	عوامل	Evaluation -----	سنجش
Surprise -----	غافل‌گیری	Political -----	سیاسی
Oversight -----	غفلت	Branch -----	شاخه
Uncertain -----	غیر قطعی	Simulation -----	شبیه‌سازی
Unlikely -----	غیر محتمل	Intensity -----	شدت
Exceedance -----	فراگذشت	Conditions -----	شرایط

Mitigate ----- کاهش دادن	Process----- فرآیند
Attenuation ----- کاهندگی	Opportunity ----- فرصت
Business----- کسب و کار	Assumptions----- فرضیات
Detection ----- کشف	Form----- فرم
General----- کلی	Activities----- فعالیت‌ها
Minimal, Minimum----- کمینه	Watch List ----- فهرست مراقبت
Undeveloped----- کنکاو نشده	Power----- قدرت
Quantum ----- کوانتوم	Contract----- قرارداد
Qualitative----- کیفی	Theorem ----- قضیه
Quality ----- کیفیت	قضیه احتمال کل
Discrete ----- گسسته	TotalProbabilityTheorem -----
Markov----- مارکوف	Bayes Theorem ----- قضیه بیز
Normally Expected ----- متداول	Cut ----- قطعه کردن
Universal Set ----- مجموعه مرجع	Home ----- قلعه
Tie Set ----- مجموعه ی پیوند	Strength----- قوت
Cut Set ----- مجموعه ی گسست	Effective ----- کارآمد
Likely----- محتمل	Application----- کاربرد
Range----- محدوده	Worksheet----- کاربرگ
Environment----- محیط زیست	Client ----- کارفرما
Mode ----- مد	Workshop, Site ----- کارگاه
Risk Management ----- مدیریت ریسک	Calibration ----- کالیبره کردن
Negotiation ----- مذاکره	Reduction ----- کاهش

Project Charter	منشور پروژه	Chronic	مزمن
Benefit	منفعت	Independent	مستقل
Agreement	موافقت نامه	Documents	مستندات
Agreed	مورد توافق	Path	مسیر
Milestone	موعده	Path Enumeration	مسیر شماری
Monte Carlo	مونت کارلو	Responsibility	مسئولیت
Average	میانگین	Legitimation	مشروعیت
Median	میانه	End User	مصرف کننده
Unbiased	نااریب	Approved	مصوب
Rare	نادر	Exposure	معرض
Incompatible	ناسازگار	Epistemic	معطوف به شناخت
Unknowns	ناشناخته ها	Criteria	معیارها
Normalized	نرمال شده	Actual Value	مقدار واقعی
Sampling	نمونه گیری	Provisions, Requirements	مقررات
Profile	نیمرخ	Scale	مقیاس
Semi-Quantitative	نیمه کمی	Complement	مکمل
Priority And Gate	و ترتیب دار	Possible	ممکن
Dependency	وابستگی	Resources	منابع
Response	واکنش		مناسب ترین مقدار
Target	هدف	Most Appropriate Value	
Cost	هزینه	Interests	منافع
Convergence	همگرایی	Tender	مناقصه