INSO
20528
1st. Edition
2016

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

استاندارد ملی ایران
۲۰۵۲۸
چاپ اول
۱۳۹۵

اصول کلی قابلیت‌اعتماد سازه‌ها

General Principles on Reliability for Structures

ICS:91.080.01

به‌نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

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

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

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

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

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

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

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

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
"اصول کلی قابلیت‌اعتماد سازه‌ها"

رئیس:	**سمت و/ یا نمایندگی:**
همت، حجت (کارشناس ارشد مهندسی عمران)	رئیس هیات مشورتی سازمان نظام مهندسی ساختمان فارس
دبیر:	
محرری، حسن (کارشناس مهندسی عمران و کارشناس حقوق)	کارشناس رسمی دادگستری و کارشناس ارشد امور استاندارد و تحقیقات صنعتی
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
تلاشان، محمد حسین (کارشناس مهندسی عمران)	رئیس مهندسی اداره کل راه و شهرسازی فارس
صحرانورد، اعظم (کارشناس مهندسی عمران)	مشاور فنی شرکت طراحی مهندسی عمران صنعت راسخ
ماهری، محمود رضا (دکتری مهندسی عمران)	استاد دانشکده مهندسی، بخش راه، ساختمان و محیط‌زیست دانشگاه شیراز
مجتبوی، سید علیرضا (کارشناس مهندسی مواد- سرامیک)	سازمان ملی استاندارد ایران
محرری، رضا (کارشناس مهندسی عمران)	مدیر عامل شرکت باریت و بنتونیت فردوس
هاتف، نادر (دکتری مهندسی عمران)	استاد دانشکده مهندسی، بخش راه، ساختمان و محیط‌زیست دانشگاه شیراز و رئیس موسسه ژئوتکنیک دانشگاه شیراز
هادیان فرد، محمد علی (دکتری مهندسی عمران)	دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی شیراز

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران	ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد	ج
پیش گفتار	و
مقدمه	ز
۱ هدف و دامنه کاربرد	۱
۲ مراجع الزامی	۲
۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها، کوته‌نوشت‌ها و یکاها	۳
۳-۱ واژه‌های عمومی	۳
۳-۲ واژه‌های مربوط به طرح و ارزیابی	۹
۳-۳ واژه‌های مرتبط به کنش‌ها، تاثیرات کنش‌ها و تاثیرات محیطی	۱۴
۳-۴ واژه‌های مرتبط با پاسخ سازه، ویژگی‌های مصالح و کمیت‌های هندسی	۱۸
۳-۵ نمادها	۱۹
۴ مبانی	۲۲
۴-۱ کلیات	۲۲
۴-۲ اهداف و الزامات سازه‌ها	۲۲
۴-۳ مبانی مفهومی	۲۳
۴-۴ رویکردها	۲۶
۴-۵ مستندسازی	۲۹
۵ مدل سازی عملکرد	۲۹
۵-۱ کلیات	۲۹
۵-۲ مدل عملکرد	۳۰
۵-۳ حالات حدی	۳۲
۶ ارائه و مدل‌سازی عدم قطعیت	۳۴
۶-۱ کلیات	۳۴
۶-۲ مدل‌های تحلیل سازه	۳۶
۶-۳ مدل پیامدها	۴۲
۶-۴ عدم قطعیت مدل	۴۳
۶-۵ مدل‌های تجربی	۴۴
۶-۶ به روز رسانی مدل‌های احتمالاتی	۴۴

ادامه فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۷ تصمیم‌گیری خطرپذیری آگاهانه	۴۵
۷-۱ کلیات	۴۵
۷-۲ تعیین سامانه	۴۵
۷-۳ مدل‌سازی سامانه	۴۶
۷-۴ کمی‌سازی خطرپذیری	۴۶
۷-۵ بهینه‌سازی تصمیمات و قبول خطرپذیری	۴۶
۸ تصمیم گیری بر اساس قابلیت‌اعتماد	۴۷
۸-۱ کلیات	۴۷
۸-۲ تصمیم بر اساس اقدامات احتمالی به روز شده	۴۹
۸-۳ قابلیت‌اعتماد سامانه در مقابل قابلیت‌اعتماد اجزاء	۴۹
۸-۴ احتمالات زوال هدف	۴۹
۸-۵ محاسبه احتمال زوال	۵۰
۸-۶ انجام طرح احتمالاتی	۵۱
۹ روش نیمه‌احتمالاتی	۵۲
۹-۱ کلیات	۵۲
۹-۲ اصول پایه	۵۲
۹-۳ مقادیر مشخصه و معرف	۵۳
۹-۴ چارچوب‌های ایمنی	۵۴
۹-۵ راستی آزمایی در صورت آسیب انباشته	۵۷
پیوست الف (آگاهی‌دهنده)- مدیریت کیفیت	۵۸
پیوست ب (آگاهی‌دهنده)- مدیریت مادام‌العمر یکپارچگی سازه ای	۶۶
پیوست پ (آگاهی‌دهنده)- طراحی بر اساس مشاهدات و مدل تجربی	۷۴
پیوست ت (آگاهی‌دهنده)- قابلیت‌اعتماد سازه های ژئوتکنیکی	۸۳
پیوست ث (آگاهی‌دهنده)- واسنجی آئین نامه	۹۱
پیوست ج (آگاهی‌دهنده)- استحکام سازه‌ای	۱۰۲
پیوست چ (آگاهی‌دهنده)- بهینه‌سازی و معیار ایمنی جانی	۱۱۵
کتابنامه	۱۲۶

پیش گفتار

استاندارد "اصول کلی قابلیت‌اعتماد سازه‌ها" که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده است و در ششصد و شصت و سومین اجلاس کمیته ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۹۵/۱/۲۸ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران ، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

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

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

ISO 2394: 2015, General principle on reliability for structures.

مقدمه

این استاندارد قصد دارد تا پیشرفت‌های صورت پذیرفته در مبانی مشترک برای تصمیم‌گیری درخصوص سازه‌های باربر در زمینه صنعت ساختمان را منعکس نماید. این پیشرفت‌ها از توسعه سامانه‌ای و منطقی مقابله با خطرپذیری تا به‌کارگیری طرح بر مبنای قابلیت‌اعتماد از طریق مقررات و آئین‌نامه‌ها را شامل می‌شود. بنابراین به کارگیری این استاندارد باید هماهنگی طرح‌های در سطح ملی و بین‌المللی را افزایش داده و وحدت رویه در آئین‌نامه‌ها و استانداردهای مربوطه، از جمله برای کنش‌ها و مقاومت مصالح سازه‌ای متناظر ایجاد نماید و اصول و تجهیزات مناسب برای تامین تراز مناسب قابلیت‌اعتماد برای رده‌های خاص از سازه‌ها یا پروژه‌ها در جایی که مبانی تجربی معمول نیازمند توسعه به صورتی مستدل است را فراهم می‌سازد. چارچوب خطرپذیری به صورتی خاص معرفی شده است که سناریو محور بوده و رویکرد مدل‌سازی یکپارچه برای کاربردهای گوناگون را تسهیل نموده و ضمن تشریح پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم، بر استحکام تاکید دارد.

الزامات ایمنی و قابلیت‌اعتماد در این استاندارد بر مبنای ملاحظات خطرپذیری و اقتصاد اجتماعی است. این به نوبه خود استفاده از این استاندارد در چارچوب توسعه پایدار اجتماعی در نقاط مختلف را تسهیل می‌کند. بنابراین استاندارد حاضر تنظیم و راستی‌آزمایی را ممکن ساخته و عملکرد ایمن سازه‌ها را مستند می‌سازد و همچنین آن‌ها را با دید بازتری به عنوان بخشی از سامانه اجتماعی درنظر می‌گیرد. این استاندارد رویکرد در سه تراز به نام‌های خطر پذیری آگاهانه، خطرپذیری بر مبنای قابلیت‌اعتماد و خطرپذیری نیمه‌احتمالاتی را تامین می‌نماید.

مبنای رویکرد این ویرایش از استاندارد در مراجع [8] و [9] کتاب‌نامه تشریح شده است که در آن‌جا اطلاعات بیشتر در این زمینه برای خواننده قابل دسترسی است.

در ادامه جهت حمایت از استفاده‌کنندگان، پیوست‌های آگاهی‌دهنده در تشریح و کاربرد اصول مطرح شده در فصل‌های این استاندارد، ارائه شده است.

اصول کلی قابلیت‌اعتماد سازه‌ها

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه بنیانی بر پایه آگاهی از خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد جهت تصمیم‌گیری در رابطه با طرح و ارزیابی سازه‌ها، هم به منظور تدوین مقررات و آئین‌نامه‌ها و هم در خصوص پروژه‌های خاص است.

اصول ارائه شده در این استاندارد؛ اکثر ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و کارهای ساختمانی صرفنظر از ماهیت کاربرد، کاربری و یا ترکیب مواد مورد استفاده را پوشش می‌دهد[۱]. استفاده از این استاندارد نیازمند منطبق‌سازی و ارائه جزئیات خاص در موارد ویژه‌ای است که بروز عیب یا نارسایی در آن می‌تواند پیامدهای شدیدی در پی داشته باشد[۲]. این استاندارد به عنوان مبنایی است برای کمیته‌هایی که وظیفه تهیه استانداردهای بین‌المللی، استانداردهای ملی و یا آئین‌نامه‌های کاربردی را بر اساس اهداف و موضوع‌های داده شده در یک کشور خاص به عهده دارند. این استاندارد چگونگی استفاده از اصول خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد برای اخذ تصمیم‌های مربوط به طراحی و ارزیابی سازه‌ها و سامانه‌هایی که در طول عمر خود شامل سازه هستند را تشریح می‌کند. در این خصوص سه سطح رویکرد متفاوت، اما مرتبط به صورت خطرپذیری آگاهانه، خطرپذیری بر مبنای قابلیت‌اعتماد و خطرپذیری نیمه‌احتمالاتی را می‌توان برشمرد. این اصول کلی، قابل اعمال به طراحی سازه‌های کامل (ساختمان‌ها، پل‌ها، سازه‌های صنعتی، و غیره)، عناصر سازه‌ای و اتصالات شکل دهنده سازه‌ها و فونداسیون‌ها است. اصول این استاندارد قابل اعمال به مراحل متوالی اجرا، جابجایی ، نصب عناصر سازه‌ای و کلیه کارهای کارگاهی و همچنین بهره‌گیری از سازه‌ها در طول عمرکاری طرح خود، از جمله تعمیر و نگهداری، بهسازی و تخریب است. خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد مفاهیمی هستند که برای توضیح و تشریح کنش‌ها، پاسخ سازه‌ای، دوام، عملکرد در چرخه عمر، پیامدها، قواعد طراحی، طرز کار، روش‌های کنترل کیفیت و الزامات ملی استفاده می‌شوند، که همه آن‌ها متقابلا به یکدیگر وابسته‌اند.

استفاده از این استاندارد مستلزم دانشی فراتر از آنچه که در بندها و ضمایم آن است است. این مسوولیت کاربر است تا از دسترسی و بکارگیری این دانش اطمینان حاصل نماید.

۱- این استاندارد کاملا عمومی بوده و اصول پایه‌ای آن می‌تواند برای هر سازه‌ای زیر یا روی سطح زمین اعمال شود.

۲- برای مثال در رابطه با سازه نیروگاه‌های هسته‌ای و تاسیسات نفت و گاز دریایی در محیط‌های بسیار حساس

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندار الزامی است:

2-1 ISO 3898: Bases for design of structures-Names and symbols of physical quantities and generic quantities.

2-2 ISO 9000: Quality management systems-Fundamentals and vocabulary.

2-3 ISO 13822: Bases for design of structures-Assessment of existing structures.

2-4 ISO 13823: General principles on the design of structures for durability.

2-5 ISO 13824: Bases for design of structures-General principles on risk assessment of systems involving structures.

2-6 ISO 13833: Stationary source emissions-Determination of the ratio of biomass (biogenic) and fossil-derived carbon dioxide -- Radiocarbon sampling and determination.

2-7 ISO 19902: Petroleum and natural gas industries-Fixed steel offshore structures.

۳ اصطلاحات و تعاریف، نمادها، کوته‌نوشت‌ها و یکاها

در این استاندارد اصطلاحات با تعاریف زیر به کار می رود:

۳-۱ واژه های عمومی

۳-۱-۱

سازه

structure

ترکیب طراحی شده منظمی از بخش‌های متصل به یکدیگر شامل سازه‌های ژئوتکنیکی، برای تامین مقاومت و صلبیت در مقابل کنش‌های گوناگون

۳-۱-۲

عضو سازه‌ای

structural member

بخش قابل تمایز فیزیکی یک سازه مانند ستون، تیر، ورق و فونداسیون

۳-۱-۳

سامانه

system

مجموعه‌ای از اعضای وابسته، مرتبط یا متعامل دارای موجودیتی واحد به منظور دست‌یابی به اهداف تعیین‌شده از طریق اندرکنش بخش‌های آن با یکدیگر و اندرکنش بخش‌های آن با محیط پیرامونی

۳-۱-۴

سامانه سازه‌ای

structural system

اعضای باربر یک ساختمان یا یک سازه عمرانی و روش اندرکنش این اعضا با یکدیگر و با محیط اطراف

۳-۱-۵

الزامات

requirement

مطالبات مرتبط با موضوع‌های سازه‌ای مانند ایمنی برای مردم و محیط اطراف، عملکرد، کاربرد و تعهد به منابع و هزینه کرد بهینه

۳-۱-۶

رعایت

compliance

ایفا و برآورده ساختن الزامات مشخص

۳-۱-۷

چرخه عمر

life cycle

مراحل آغاز، تعریف پروژه، طرح، اجرا، راه‌اندازی، بهره‌برداری، نگهداری، نوسازی، تعویض، جمع‌آوری و برچیدن نهایی، بازیافت یا استفاده مجدد سازه (یا بخش‌های آن)، شامل اجزا آن، سامانه ها و خدمات ساختمانی

۳-۱-۸

قابلیت‌اعتماد

reliability

توانایی یک سازه یا اعضای سازه‌ای برای برآورده‌کردن الزامات مشخصی که برای آن طرح شده در طول عمر کاری

یادآوری ۱- قابلیت‌اعتماد معمولا در چارچوب احتمال بیان می‌شود.

یادآوری۲- قابلیت‌اعتماد شامل ایمنی، قابلیت بهره‌برداری و دوام یک سازه می‌شود.

۳-۱-۹

ایمنی سازه‌ای

structural safety

توانایی در عدم تجاوز از حالت‌های حدی نهایی (یک سازه یا یک عضو سازه‌ای)، شامل تاثیرات یک پدیده تصادفی، با برخورداری از تراز مشخص قابلیت‌اعتماد در طول یک دوره مشخص زمان

۳-۱-۱۰

دوام

durability

قابلیت یک سازه یا هر عضو سازه‌ای با برنامه نگهداری مشخص در برآورده ساختن الزامات عملکردی طی یک دوره مشخص زمانی و تحت اثر کنش‌های محیطی

۳-۱-۱۱

وقایع رویارویی

exposure events

وقایعی با توانایی آسیب به سازه و یا تحت تاثیر قراردادن شاخص‌های عملکردی آن

۳-۱-۱۲

ارزیابی

assessment

مجموعه کامل فعالیت‌های انجام شده برای راستی‌آزمایی قابلیت‌اعتماد یک سازه موجود

۳-۱-۱۳

ارتقاء

upgrading

اصلاح یک سازه موجود، عملیات اجرایی و فرایندها برای ارتقا عملکرد سازه‌ای یا تسهیل استفاده از آن برای مقاصد جدید

۳-۱-۱۴

تعمیر(یک سازه)

repair (of a structure)

بازیابی شرایط یک سازه آسیب دیده یا فرسوده

۳-۱-۱۵

بهسازی

rehabilitation

تعمیر یا ارتقا یک سازه موجود

۳-۱-۱۶

نظارت

monitoring

مشاهده یا اندازه‌گیری متواتر یا ممتد و معمولا طولانی مدت شرایط سازه‌ای یا کنش‌ها یا واکنش سازه

۳-۱-۱۷

بازرسی

inspection

آزمون‌های کارگاهی با هدف کنترل کیفیت و ارزیابی شرایط به منظور ارزیابی شرایط فعلی یک سازه

۳-۱-۱۸

وقایع اصلی

constituent events

وقایع مرتبط با آسیب یا زوال اعضای سازه‌ای یا بخش‌هایی از آن، مانند هریک از مقاطع عرضی و یا اتصالات

۳-۱-۱۹

طرح بر مبنای قابلیت‌اعتماد

reliability-based design

فرایند طراحی سازه تحت تراز قابلیت‌اعتماد از پیش تعیین شده

۳-۱-۲۰

قابلیت‌اعتماد اعضاء

member reliability

قابلیت‌اعتماد یک عضو سازه‌ای دارای یک مد زوال مشخص

۳-۱-۲۱

قابلیت‌اعتماد سامانه

system reliability

قابلیت‌اعتماد یک سامانه با بیش از یک عضو مرتبط یا یک عضو سازه‌ای دارای بیش از یک مد زوال

۳-۱-۲۲

جمعیت

population

مجموعه موجودیت‌هایی که مشخصات احتمالی یکسانی (میانگین و . . .) برای آن‌ها صادق باشد

۳-۱-۲۳

فضای نتایج

outcome space

مجموعه تمام پی‌آمدهای یک پدیده تصادفی

۳-۱-۲۴

جزء اصلی

constituent

بخش یا جزء مشارکت‌کننده در یک عملکرد معلوم

۳-۱-۲۵

شاخص عملکرد

performance indicator

پارامتر تشریح‌کننده خصوصیتی خاص از سازه یا یک خصوصیت رفتار سازه‌ای

۳-۱-۲۶

عملکرد سازه‌ای

structural performance

معرف کیفی یا کمی رفتار یک سازه در ارتباط با ایمنی، قابلیت بهره‌برداری، دوام و استحکام (برای مثال ظرفیت باربری، سختی و غیره)

۳-۱-۲۷

مقاومت

resistance

توانایی یک سازه (یا بخشی از آن) برای تحمل کنش‌ها بدون زوال

۳-۱-۲۸

کنترل کیفیت

quality control

اقداماتی برای کنترل کیفیت طرح، اجرا، استفاده و برچیدن یک سازه

۳-۱-۲۹

خسارت

damage

تغییر ناخوشایند در شرایط یک سازه با امکان تاثیر نامطلوب بر عملکرد سازه‌ای

۳-۱-۳۰

فروریختن

collapse

پیشرفت سازوکار زوال در یک سازه، منجر به از هم پاشیدگی و فروریختن (بخشی از) اعضای سازه‌ای

۳-۱-۳۱

فرسودگی

deterioration

فرایندی با تاثیر نامناسب بر عملکرد سازه‌ای از جمله قابلیت‌اعتماد در طول زمان

یادآوری- فرسودگی ممکن است در اثر کنش‌های طبیعی شیمیایی، فیزیکی یا کنش‌های بیولوژیکی، کنش‌ها معمول یا شدید محیطی، کنش‌های مکرر (مانند آنچه موجب خستگی، فرسودگی در اثر استفاده می‌شود) و همچنین بکارگیری یا نگهداری نامناسب سازه ایجاد شود.

۳-۱-۳۲

قابلیت بهره‌برداری

serviceability

توانایی یک سازه یا عضو سازه‌ای در انجام عملکرد مناسب در استفاده معمول تحت اثر تمام کنش‌های مورد انتظار

۳-۱-۳۳

شرح سناریو

scenario description

تعیین ترتیب‌های مختلف وقایع موثر بر شاخص‌های عملکرد با در نظر گرفتن احتمال وقوع آن‌ها

۳-۱-۳۴

رده پیامدها

consequence class

طبقه‌بندی پیامدهای زوال سازه‌ای

۳-۱-۳۵

رده قابلیت اعتماد

reliability class

رده سازه‌ها یا اعضای سازه‌ای با الزام درجه قابلیت‌اعتماد مشخص

۳-۱-۳۶

تمایز قابلیت اعتماد

reliability differentiation

بهینه‌سازی اقتصادی-اجتماعی منابع مورد استفاده برای انجام کارهای اجرایی، با در نظر گرفتن همه پیامدهای زوال و هزینه اجرای مورد انتظار

۳-۱-۳۷

سناریوی خطر

hazard scenario

مجموعه موقعیت‌های گذرایی که ممکن برای یک سامانه، با امکان خطر برای خود سامانه، مردم و محیط‌زیست

۳-۱-۳۸

طرح خطرپذیری آگاهانه

risk-informed design

طرحی بهینه شده با در نظر گرفتن همه خطرها شامل مرگ و میر و یا جراحات، آسیب به کیفیت محیط زیست و همچنین خسارات مالی

یادآوری- طراحی خطرپذیری آگاهانه در حال حاضر توسط تمامی آئین‌نامه‌ها و مقررات ملی پذیرفته نشده است.

۳-۱-۳۹

برنامه ایمنی

safety plan

برنامه مشخص کننده کلیه اهداف عملکردی، سناریوهای خطری که باید برای سازه لحاظ شود و همه اقدامات لازم حال و آینده (برای مثال طرح، اجرا، راه‌اندازی و نظارت) برای تضمین ایمنی سازه

۳-۱-۴۰

خطرپذیری

risk

تاثیر عدم‌قطعیت‌ها بر اهداف

یادآوری- از نقطه نظر تئوری انتخاب؛ خطرپذیری، مقدار کل مورد انتظار پیامدهای نامطلوب است یعنی مجموع حاصل‌ضرب پیامد کلیه وقایع در احتمال متناظر آن‌ها.

۳-۱-۴۱

هزینه مرزی نجات زندگی

marginal lifesaving cost

میزان افزایش هزینه مربوط به نجات جان یک نفر از طریق افزودن اقدامات ایمنی

۳-۱-۴۲

غربالگری خطرپذیری

risk screening

بررسی و طبقه‌بندی خطرپذیری‌های مشخص شده برای همه موقعیت‌های خطر

۳-۱-۴۳

شاخص کیفیت زندگی

Life Quality Index
(LQI)

شاخص اولویت اجتماعی و ظرفیت سرمایه‌گذاری در ایمنی جانی، که به صورت تابعی از تولید ناخالص ملی، امید به زندگی در تولد و نسبت زمان فراغت به ساعت کار بیان می‌شود

۳-۱-۴۴

برنامه به کارگیری

utilisation plan

برنامه‌ای شامل کاربرد (یا کاربردهای) مورد نظر سازه و فهرست شرایط استفاده از سازه شامل الزامات نگهداری و الزامات عملکرد متناظر با آن

۳-۱-۴۵

هدف قابلیت اعتماد

reliability target

میانگین احتمال زوال قابل قبول و تعیین شده‌ای که درنظر است تا میزان ممکن به آن نزدیک شد

یادآوری۱- هدف‌های قابلیت‌اعتماد معمولا وابسته به مدل هستند و لازم است برای هر مورد براساس مدل مورد استفاده تنظیم شوند.

۳-۱-۴۶

استحکام

عدم حساسیت به آسیب

robustness
damage insensitivity

توانایی یک سازه برای مقاومت در برابر وقایع نامطلوب و پیش‌بینی‌نشده(مانند آتش سوزی، انفجار و برخورد) یا پیامدهای اشتباهات انسانی بدون واردشدن آسیب جدی نامتناسب با علت اصلی

۳-۱-۴۷

خطر

hazard

تهدید غیر معمول و جدی، برای مثال یک کنش غیرعادی یا تاثیر محیطی محتمل، عدم سختی یا مقاومت کافی یا انحراف زیان‌بار بیش از حد در ابعاد مورد انتظار

۳-۲ واژه های مربوط به طرح و ارزیابی

۳-۲-۱

موقعیت طرح/ارزیابی

design/assessment situations

مجموعه شرایط فیزیکی معرف یک بازه زمانی، که باید نشان داده شود طی آن از حالات حدی مربوطه تجاوز نشده است

۳-۲-۲

موقعیت طرح پایا

persistent design situation

شرایط معمول استفاده از سازه

۳-۲-۳

موقعیت طرح گذرا

transient design situations

شرایط موقتی استفاده یا رویارویی سازه، متناظر با یک پریود زمانی بسیار کوتاه‌تر از عمر کاری طرح، مانند زمان اجرا یا تعمیر

۳-۲-۴

موقعیت طرح تصادفی

accidental design situations

شرایط طرح سازه مربوط به موقعیت‌های استثنایی محتمل در حین استفاده یا رویارویی، شامل سیل، آتش، انفجار، برخورد، عملکرد ناقص سامانه یا زوال موضعی

۵-۲-۳

موقعیت طرح لرزه‌ای

seismic design situation

موقعیت طرح مربوط به شرایط استثنایی در زمانی که سازه تحت اثر یک رویداد لرزه‌ای است

۶-۲-۳

زوال

failure

عدم کفایت ظرفیت باربری یا قابلیت بهره‌برداری یک سازه یا عضو سازه‌ای، یا گسیختگی یا تغییر شکل بیش از حد زمین در خصوص خاک یا سنگ‌های با مقاومت قابل توجه

۷-۲-۳

حالات حدی

limit states

شرایطی که فراتر از آن سازه ضوابط طرح را ارضا نمی‌کند

۸-۲-۳

حالات طرح نهایی

ultimate limit states

حالات حدی مربوط به حداکثر ظرفیت باربری

۹-۲-۳

ضوابط طرح

design criteria

روابطی کمّی تشریح کننده شرایط لازم‌الاجرا برای هر حالت حدی

۱۰-۲-۳

حالات حدی قابلیت بهره‌برداری

serviceability limit states

حالات حدی مربوط به ضوابط کنترل کننده قابلیت عملکرد در استفاده متعارف

۱۱-۲-۳

حالات حدی برگشت ناپذیر

irreversible limit states

حالات حدی که تجاوز از آن‌ها حتی پس از رفع کنش ایجاد کننده، همیشه باقی خواهد ماند

۱۲-۲-۳

حالات حدی برگشت‌پذیر

reversible limit states

حالات حدی که تجاوز از آن‌ها با حذف کنش ایجاد کننده، رفع می‌شود

۱۳-۲-۳

حالت حدی وضعی

condition limit state

حالت حدی قابل کنترل و روشن و فاقد هرگونه تبعات منفی که اغلب تخمینی از یک حالت حدی واقعی است که به خوبی قابل تعریف نیست یا محاسبه آن دشوار است

یادآوری- در کاربردهای مرتبط به مباحث دوام، اغلب به حالت حدی وضعی، حالت حدی دوام گفته می‌شود.

۳-۲-۱۴

تابع حالت حدی

limit state function

تابع $g(X_1, X_1, \dots, X_1)$ از متغیرهای پایه، که صفر شدن مقدار آن، یک حالت حدی را مشخص می‌کند

۳-۲-۱۵

متغیرهای پایه

basic variables

متغیرهای معرف مقادیر فیزیکی، که کنش‌ها و تاثیرات محیطی، ویژگی‌های مصالح یا خاک و مقادیر هندسی را توصیف می‌کنند

۳-۲-۱۶

عمر بهره‌برداری طرح

design service life

مدت مفروضی که در نظر گرفته شده برای یک سازه یا عضو سازه‌ای جهت استفاده با نگهداری مشخص اما بدون نیاز به تعمیر جدی

۳-۲-۱۷

عدم‌قطعیت مدل

model uncertainty

متغیر پایه مربوط به دقت مدل‌های فیزیکی یا آماری

۳-۲-۱۸

عدم‌قطعیت ذاتی

aleatory uncertainty

تغییرپذیری ذاتی و معمولا مرتبط با محیط بارگذاری، هندسه سازه و ویژگی‌های مصالح

۳-۲-۱۹

عدم‌قطعیت اطلاعاتی

epistemic uncertainty

کمبود اطلاعات قابل کاهش با اندازه‌گیری یا بهبود تئوری‌ها

یادآوری- مرز دقیق بین عدم قطعیت ذاتی و عدم قطعیت اطلاعاتی هیچ‌گاه خالی از ابهام نیست.

۳-۲-۲۰

مدل‌سازی سلسله مراتبی عدم قطعیت

hierarchical modelling of uncertainty

متغیری تصادفی و تابعی از متغیرهای تصادفی دیگر

۲۱-۲-۳

روش‌های احتمالاتی

probabilistic methods

روش‌های راستی‌آزمایی با رفتاری مانند متغیرهای تصادفی، فرآیندهای تصادفی و میدان های تصادفی، گسسته یا پیوسته نسبت به متغیرهای پایه مربوطه

۲۲-۲-۳

شاخص قابلیت اعتماد

β

reliability index

جایگزینی برای احتمال زوال $\beta = -\Phi^{-1}(p_f)$ که در آن Φ^{-1} معکوس توزیع استاندارد شده نرمال است

۲۳-۲-۳

(شاخص) قابلیت‌اعتماد هدف

target reliability (index)

(شاخص) قابلیت‌اعتماد متناظر با ایمنی یا قابلیت‌بهره‌برداری متناظر

۲۴-۲-۳

روش‌های نیمه احتمالاتی یا ضرائب جزئی

semi-probabilistic or partial factors methods

روش‌های راستی‌آزمایی با پیش‌بینی لازم برای عدم‌قطعیت‌ها و تغییرپذیری‌های مرتبط با متغیرهای پایه، از طریق مقادیر معرف، ضرائب جزئی و کمیت‌های اضافه مرتبط

یادآوری- ضرائب جزئی می‌توانند به متغیرهای تصادفی منفرد و یا متغیرهای کلی مرتبط باشند.

۲۵-۲-۳

مدل سازه‌ای

structural model

نمونه فیزیکی، ریاضی یا عددی سازه به منظور تحلیل، طرح و راستی‌آزمایی

۲۶-۲-۳

سامانه ایستا

static system

شمایی از سازه، مورد استفاده برای طرح، راستی‌آزمایی و تحلیل سازه در حالت ایستا

۲۷-۲-۳

ترازهای راستی‌آزمایی

levels of verification

ترازهای راستی‌آزمایی مورد استفاده برای ارزیابی تحقق اهداف در همه موقعیت‌های طرح/ارزیابی

یادآوری- ترازهای مذکور به طور معمول شامل: تراز خطرپذیری، تراز قابلیت‌اعتماد احتمالاتی و تراز نیمه‌احتمالاتی است.

۲۸-۲-۳

روش‌های قابلیت‌اعتماد درجه اول/دوم

First/Second Order Reliability Methods
(FORM/SORM)

روش‌های عددی مورد استفاده برای تعیین شاخص قابلیت‌اعتماد β

۲۹-۲-۳

اجزای قابلیت اعتماد

reliability elements

کمیت‌های عددی مورد استفاده در چارچوب ضرائب جزئی با فرض تحقق قابلیت‌اعتماد هدف توسط آن‌ها

یادآوری- اجزاء قابلیت‌اعتماد شامل ضرائب جزئی و ضرائب ترکیبات بار است.

۳۰-۲-۳

مقدار مشخصه

characteristic value

مقداری (ترجیحا) مشخص شده توسط آمار، با احتمال از پیش تعریف شده‌ای برای عدم تجاوز از آن

یادآوری- برای کنش‌های متغیر، مقدار مشخصه متناظر با یکی از دو حالت زیر است:

- یک مقدار بالا با احتمال مورد نظر برای عدم تجاوز از آن، یا یک مقدار پائین با احتمال مورد نظر برای تحقق آن طی دوره مرجع مشخص.
- یک مقدار اسمی که در صورت نامشخص بودن توزیع آماری تعیین می‌شود.

۳۱-۲-۳

دوره مرجع

reference period

دوره زمانی مورد استفاده به عنوان مبنایی برای ارزیابی مقدار طرح کنش‌های متغیر و یا تصادفی

۳۲-۲-۳

مقدار اسمی

nominal value

مقداری ثابت بر مبنای غیر آماری، مثلا بر مبنای تجربیات اکتسابی یا محدودیت‌های فیزیکی

۳۳-۲-۳

مسیر بار جایگزین

alternative load path
(ALP)

مسیر جایگزین برای انتقال بار از نقطه اعمال به نقطه مقاوم

۳۴-۲-۳

اقدامات کاهنده پیامدها

consequence reducing measures

اقداماتی با هدف کاهش پیامدهای مستقیم یا غیرمستقیم و به تبع آن کاهش خطرپذیری کلی

۳۵-۲-۳

عضو کلیدی

key element

عضو سازه‌ای که حالت حدی عملکرد نهایی سازه به آن وابسته است

۳۶-۲-۳

واسنجی آئین‌نامه

code calibration

تعیین اجزا قابلیت‌اعتماد در چارچوب یک آئین‌نامه مشخص برای دستیابی به هدف قابلیت اعتماد

۳۷-۲-۳

آزمون بار

load testing

آزمون سازه (یا بخشی از آن) از طریق بارگذاری به‌منظور ارزیابی رفتار یا مشخصات یا پیش‌بینی ظرفیت باربری

۳-۳ واژه‌های مرتبط به کنش‌ها، تاثیرات کنش‌ها و تاثیرات محیطی

۱-۳-۳

کنش

action

مجموعه بارهای متمرکز یا خطی بر روی یک سازه (کنش‌های مستقیم)، تغییر مکان‌ها یا تاثیرات حرارتی وارد شده بر سازه یا محبوس شده در آن یا تاثیرات محیطی با قابلیت ایجاد تغییر در ویژگی‌های مصالح یا ابعاد سازه با گذشت زمان

۲-۳-۳

کنش مستقل/کنش تک

individual action/single action

کنشی با امکان فرض استقلال آن در زمان و مکان از هر کنش اثرگذار دیگر بر سازه

۳-۳-۳

کنش دائمی

permanent action

کنشی با احتمال فعال بودن مداوم در طول عمر کاری طرح با تغییرات اندازه اندک نسبت به مقدار میانگین آن در طول زمان

۴-۳-۳

کنش متغیر

variable action

کنشی با احتمال رخ دادن در طول عمر کاری طرح و با تغییرات اندازه غیرقابل صرفنظر و نایکنوا در طول زمان

۵-۳-۳

کنش تصادفی

accidental action

کنشی با احتمال وقوع اندک در طول عمر کاری طرح سازه

۳-۳-۶

کنش ثابت

fixed action

کنشی با توزیعی ثابت بر روی سازه به گونه‌ای که با مشخص شدن اندازه و جهت آن در یک نقطه از سازه، مقدار آن برای کل سازه مشخص شود

۳-۳-۷

کنش آزاد

free action

کنشی که با توزیع مکانی دلخواه با حدود مشخص، بر روی سازه

۳-۳-۸

کنش پویا

dynamic action

کنشی با قابلیت واردکردن می‌تواند شتاب قابل توجه به سازه یا اعضای سازه‌ای

۳-۳-۹

کنش ایستا

static action

کنشی که شتاب قابل توجهی به سازه یا اعضای سازه‌ای وارد نکند

۳-۳-۱۰

کنش محدود

bounded action

کنشی دارای مقدار حدی مشخص دقیق یا تخمینی و با عدم توانایی تجاوز از آن حد

۳-۳-۱۱

مقدار طرح یک کنش

F_d

design value of an action

مقدار مورد استفاده یک کنش در راستی‌آزمایی نیمه احتمالاتی واسنجی شده برای هدف قابلیت‌اعتماد

یادآوری- در روش ضریب جزئی، این مقدار از ضرب مقدار معرف در ضریب جزئی γ_F بدست می‌آید

۳-۳-۱۲

تاثیر کنش‌ها

effect of actions

نتیجه اعمال کنش‌ها به یک عضو سازه‌ای (مانند نیروهای داخلی، خمش، تنش، کرنش) یا به کل سازه (مانند تغییر شکل یا چرخش)

۱۳-۳-۳

پیش تنش

prestress

نیروی تعمدی اعمالی از طریق تحمیل تغییرشکل به یک سازه

۱۴-۳-۳

کنش ژئوتکنیکی

geotechnical action

کنش انتقالی به سازه از طریق زمین، خاکریز یا آب زیرزمینی

۱۵-۳-۳

کنش لرزه‌ای

seismic action

کنش ایجاد شده توسط حرکات زمین در اثر زلزله

۱۶-۳-۳

بار وارده

imposed load

بار ناشی از سکونت در ساختمان

۱۷-۳-۳

بار اجرا

construction load

بار اختصاصی مرتبط با عملیات اجرایی

۱۸-۳-۳

تاثیرات محیطی

environmental influences

تاثیرات فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی با قابلیت ایجاد فرسودگی مصالح متشکله یک سازه و به تبع آن تحت‌الشعاع قراردادن قابلیت بهره‌برداری و ایمنی آن به شکل نامطلوب

۱۹-۳-۳

شناسایی بار

load arrangement

تعیین موقعیت، اندازه و جهت یک کنش آزاد

۲۰-۳-۳

مقدار معرف یک کنش

representative value of an action

یکی از کمیت‌های مقدار مشخصه، مقدار اسمی، مقدار ترکیبی، مقدار متواتر و مقدار شبه دائم مربوط به یک کنش

۲۱-۳-۳

مقدار ترکیبی

combination value

مقادیر تعیین شده به منظور مشابه سازی تقریبی احتمال تجاوز اثرات کنش‌ها در اثر چند مقدار ترکیبی با احتمال تجاوز مقدار طرح در اثر یک کنش واحد

یادآوری- مقدار ترکیبی می‌تواند به صورت یک مقدار مشخصه که توسط ضریب Ψ_0 کاهش یافته، بیان شود.

۲۲-۳-۳

مدل کنش

action model

مدل تشریح کننده اندازه، موقعیت، جهت، مدت و دیگر مشخصات کنش

یادآوری- گاهی تاثیر متقابل بین اجزا وجود دارد. در شرایط خاص ممکن است تاثیر متقابل بین کنش و پاسخ سازه نیز موجود باشد.

۲۳-۳-۳

مقدار متواتر

frequent value

مقداری معین به صورتی که یا کل زمان تجاوز از آن فقط در بخش کوچکی از دوره زمانی منتخب باشد یا تواتر تجاوز از آن به مقدار مشخص معلومی محدود شده باشد

یادآوری- مقدار متواتر ممکن است بصورت یک مقدار مشخصه که توسط ضریب Ψ_1 کاهش یافته بیان شود.

۲۴-۳-۳

مقدار شبه دائم

quasi-permanent value

مقداری مشخص شده به صورتی‌که کل زمان تجاوز از آن، در یک دوره انتخابی، از نظر اندازه حدود نصف دوره باشد

یادآوری- مقدار شبه‌دائم ممکن است بصورت بک مقدار مشخصه که توسط ضریب Ψ_2 کاهش یافته بیان شود.

۲۵-۳-۳

حالت بار

load case

ترتیب سازگار بار، مجموعه تغییرشکل‌ها و نواقص لحاظ‌شده برای راستی‌آزمایی مشخص یک حالت‌حدی معین

۲۶-۳-۳

ترکیب بار

load combination

مقادیر طرح کنش‌های مختلف لحاظ شده به صورت هم زمان برای راستی آزمایی قابلیت‌اعتماد یک سازه برای حالت حدی خاص

۲۷-۳-۳

ترکیب پایه‌ای کنش‌ها

fundamental combination of actions

ترکیب کنش‌های دائمی و متغیر (کنش اصلی به اضافه کنش‌های همراه) در موقعیت‌های طرح پایدار و گذرا مورد استفاده برای راستی آزمایی حالت حدی نهایی

۲۸-۳-۳

ترکیب تصادفی کنش‌ها

accidental combination of actions

ترکیب موقعیت‌های طرح تصادفی، شامل یک کنش تصادفی حاد (مثل آتش‌سوزی یا برخورد) یا موقعیت پس از یک رویداد تصادفی

۲۹-۳-۳

ترکیب مشخصه کنش

characteristic combination of actions

ترکیب کنش‌های دائمی و متغیر مورد استفاده برای راستی‌آزمایی حالت حدی قابلیت بهره‌برداری برگشت‌ناپذیر

۳۰ -۳-۳

ترکیب کنش متواتر

frequent combination of actions

ترکیب کنش‌های دائمی و متغیر مورد استفاده برای راستی‌آزمایی حالت حدی قابلیت بهره‌برداری برگشت‌پذیر

۳۱-۳-۳

ترکیب کنش شبه‌دائم

quasi-permanent combination of actions

ترکیب کنش‌های دائمی و متغیر مورد استفاده برای راستی‌آزمایی تاثیرات بلندمدت حالات حدی قابلیت بهره‌برداری

۴-۳ واژه های مرتبط با پاسخ سازه، ویژگی‌های مصالح و کمیت‌های هندسی

۱-۴-۳

مدل مصالح

material model

مدلی تشریح کننده رابطه بین نیروهای داخلی یا تنش‌ها و تغییرشکل‌ها از جمله نرخ کرنش

یادآوری- پارامترهای چنین روابطی، ضریب ارتجاعی، حد جاری شدن، تاب نهایی و غیره هستند که معمولا به عنوان متغیرهای تصادفی لحاظ می‌شوند. در بعضی موارد آن‌ها وابسته به زمان و مکان هستند. اغلب ارتباط متقابلی بین پارامترها وجود دارد.

۲-۴-۳

سختی

stiffness

خصوصیت مرتبط کننده تغییر شکل به کنش ایجاد کننده آن

۳-۴-۳

مقدار مشخصه یک خصوصیت مصالح

characteristic value of a material property

چندک از پیش تعیین شده توزیع آماری خصوصیت مورد نظر مصالح در منبع مربوطه

۴-۴-۳

مقدار طرح خصوصیت مصالح

design value of a material property

مقدار خصوصیت مصالح مورد استفاده در روش‌های نیمه آماری، بدست آمده از تقسیم مقدار مشخصه بر یک ضریب جزئی γ_M و یا در شرایط خاص از طریق ارزیابی مستقیم

۵-۴-۳

ضریب یا تابع تبدیل

conversion factor or function

ضرائب یا توابع مبدل خصوصیات به دست آمده از نمونه‌های آزمایشی به خصوصیات قابل استفاده در مدل‌های محاسباتی

۶-۴-۳

مقدار مشخصه یک کمیت هندسی

characteristic value of a geometrical quantity

کمیتی تعیین شده توسط طراح و عموما مربوط به (مقادیر اسمی) ابعاد

۷-۴-۳

خصوصیات هندسی

geometrical properties

اطلاعات هندسی (مانند ابعاد، زوایا و غیره) تشریح کننده سازه یا عضو سازه‌ای

یادآوری- عموما یک سازه را می‌توان توسط مدلی که شامل اعضای یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی باشد تعریف کرد. به طور کلی منظور از کمیت‌های هندسی که در این مدل ها استفاده می‌شوند مقادیر اسمی است.

۸-۴-۳

مقدار طرح یک کمیت هندسی

design value of a geometrical quantity

مقدار مشخصه اصلاح شده با افزودن یا ضرب کمیت‌ها

۳ -۵ نمادها

۳-۵-۱ کلیات

نشانه‌های مشخص شده در زیر عموما در کل این متن استفاده شده‌اند. نشانه‌هایی که فقط در یک بند استفاده شده باشد در اینجا آورده نشده است. کل نشانه‌ها بر اساس استاندارد ISO 3898 است.

۳-۵-۲ حروف بزرگ لاتین

A کنش تصادفی

Ad مقدار طرح یک کنش تصادفی

AEd مقدار طرح یک کنش لرزه‌ای

AEk مقدار مشخصه یک کنش لرزه‌ای

C محدودیت قابلیت بهره‌برداری

F کنش به صورت کلی

Fk مقدار مشخصه یک کنش

$Frep$ مقدار معرف یک کنش

Fd مقدار طرح یک کنش

G کنش دائمی

Gd مقدار طرح یک کنش دائمی

Gd, inf مقدار پائین‌تر طرح یک کنش دائم

Gd, sup مقدار بالاتر طرح یک کنش دائم

Gk, j مقدار مشخصه یک کنش دائم j

Gk, j, inf مقدار پائین‌تر مشخصه یک کنش دائم j

Gk, j, sup مقدار بالاتر مشخصه یک کنش دائم j

P کنش پیش تنیدگی

Q کنش متغیر

Qd مقدار طرح یک کنش متغیر

Qk مقدار مشخصه یک کنش متغیر

$Qk, 1$ مقدار مشخصه کنش متغیر اصلی ۱

Qk, j مقدار مشخصه کنش متغیر j

R مقاومت

Rd مقدار طرح یک مقاومت

Rk مقدار مشخصه یک مقاومت

S اثر کنش

Sd مقدار طرح یک اثر کنش

$S_{d,dst}$ مقدار طرح یک کنش ناپایدار کننده

$S_{d,stb}$ مقدار طرح یک کنش پایدار کننده

X متغیر پایه

Y متغیر خروجی مدل

۳-۵-۳ حروف کوچک لاتین

a کمیت هندسی

Δa کمیت افزایشی هندسی

m خصوصیات مصالح

p_f احتمال زوال

p_s احتمال نجات

p_{ft} احتمال هدف زوال

p_{fs} مقدار تعیین شده p_f

t زمان

۴-۵-۳ حروف یونانی

β شاخص قابلیت اعتماد

βt شاخص قابلیت‌اعتماد هدف

γ ضریب جزئی

γ_f ضریب جزئی کنش‌ها

γ_F ضریب جزئی کنش‌ها برای در نظر گرفتن عدم‌قطعیت‌های هندسی و مدل

γ_G ضریب جزئی کنش‌های دائمی

γ_G ضریب جزئی کنش‌های متغیر

γ_m ضریب جزئی خصوصیات مصالح

γ_M ضریب جزئی کلی برای خصوصیات مقاومتی با درنظر گرفتن عدم‌قطعیت‌های هندسی، مدل و مصالح

γ_S ضریب جزئی برای مدل کردن عدم‌قطعیت‌های تاثیرات کنش

γ_R ضریب جزئی برای مدل کردن عدم‌قطعیت‌های مقاومت

γ_l ضریب لحاظ نمودن اهمیت سازه و پیامدهای زوال

θ ضریب عدم‌قطعیت مدل

θ_S ضریب عدم‌قطعیت مدل برای تاثیرات کنش

θ_R ضریب عدم‌قطعیت مدل برای مقاومت

Ψ_0 ضریب برای تعیین مقدار ترکیبی کنش‌ها

Ψ_1 ضریب برای تعیین مقدار متواتر کنش‌ها

Ψ_2 ضریب برای تعیین مقدار شبه‌دائمی کنش‌ها

$g(X, t)$ تابع حالت حدی

۳-۵-۵ زیرنگاشت‌ها

i شماره متغیر (کنش) پایه

j شماره متغیر (کنش) پایه

k مقدار مشخصه

d مقدار طرح

۱ کنش اصلی

۴ مبانی

۴-۱ کلیات

در این بخش رئوس هدف‌ها و الزامات، مفاهیم پایه‌ای، رویکردها و مستندسازی به منظور تضمین تراز مناسب خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد سازه‌ها با تاکید بر اصول بیان می‌شود. در بخش‌های بعدی، اصلی‌ترین این اصول با جزئیات بیشتری تشریح شده است. در پیوست‌های این استاندارد، راهنمائی‌ها و اطلاعات بیشتر بسته به اهمیت خاص کاربرد آن‌ها، شامل نقش و کاربرد کنترل کیفی به عنوان پیش نیاز ارتباط عملی آن، ارائه شده است.

۴-۲ اهداف و الزامات سازه‌ها

۴-۲-۱ الزامات اساسی سازه‌ها

سازه‌ها باید چنان طرح، راه‌اندازی، نگهداری و برچیده شوند که در طول عمر خود ضمن تقویت کارایی اجتماعی، توسعه پایدار اجتماعی را بهبود بخشد.

یادآوری- کارایی اجتماعی شامل بیان کاربرد سازه‌ها با تمرکز بر عملکردی است که برای اجتماع ایفا می‌کنند. برای مثال یک دکل یا ستون برق فقط نگهدارنده کابل های برق نیست بلکه برق را برای صنعت و بیمارستان‌ها تامین می‌کند. پیآمدهای زوال و همچنین الزامات مقرر شده برای عملکرد سازه‌ها باید با چنین نگرشی تنظیم شوند.

سازه‌ها بخصوص باید الزامات عملکردی زیر را با درجات مناسب خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد فراهم کنند:

- در طول عمر بهره‌برداری خود و تحت تمامی کنش‌های محتمل، کارکرد مناسب در ارائه خدمت و عملکرد داشته باشند.
- در مقابل تمامی کنش‌های دائمی، مکرر و یا شدید و همچنین قرارگیری در محیط در طول اجرا، استفاده و برچیده شدن دوام آورده و ایمنی و قابلیت‌اعتماد مناسب را بسته به آسیب و زوال تامین نمایند.
- آنچنان استحکام داشته باشند که در مقابل خسارات جدی یا زوال زنجیره‌ای ناشی از وقایع پیش‌بینی نشده و یا وقایع فوق‌العاده نظیر بلایای طبیعی، تصادفات یا خطاهای انسانی با تامین استحکام مناسب، مقاومت کنند.

یادآوری ۲- پایداری را می‌توان به شاخص‌های عملکردی از جمله موارد زیر ارتباط داد:

- ایمنی مردم
- قابلیت‌اعتماد با درنظر داشتن محقق شدن اهداف

- کیفیت محیط اطراف
- صرفه اقتصادی
- کمینه‌سازی انتشار دی اکسیدکربن
- کمینه‌سازی مصرف منابع طبیعی
- کمینه‌سازی مصرف انرژی

عمر خدمت یک سازه باید با در نظر گرفتن کامل زمینه سازه و دید جامع به طرح و ارزیابی، محاسبه و بهینه شود. اساسا تصمیم در مورد عمر خدمت سازه‌ها باید بر اساس زمان نیاز به سازه و بهینه سازی منافع ناشی از عمر خدمت سازه با یک استراتژی متمایز برای تک تک اجزاء آن اتخاذ شود. مفاهیم طراحی سازه‌ها بر مبنای دوام در استاندارد ISO 13823 مورد بحث قرارمی‌گیرد.

۴-۲-۲ تراز عملکرد هدف

درجه مناسب قابلیت‌اعتماد باید با ملاحظه دقیق پیامدهای احتمالی زوال، هزینه‌های مربوطه و سطح تلاش و فرایندهای لازم برای کاهش خطرپذیری زوال و آسیب تعیین شود.

برای اطمینان از ترازهای قابل قبول خطرپذیری، ایمنی و قابلیت‌اعتماد سازه‌ها در تصمیم‌گیری در زمینه طرح و ارزیابی طرح سازه‌ای، ملاک پذیرش و الزامات دیگر باید فرموله، ارزیابی و رعایت شوند. برخی از این الزامات، وابسته به مطالبات ایمنی برای کارکنان و محیط زیست هستند که توسط جامعه تعیین می‌شود و برخی دیگر مربوط به قابلیت‌اعتماد و کارکرد سازه است که توسط مالکین مشخص می‌شود.

اصول پایه‌ای هزینه نجات زندگی برای نظم بخشیدن به ایمنی جانی کاربرد داشته و توصیه می‌شود. استفاده از اصول هزینه نجات زندگی موجب اطمینان از ایمنی کامل و یا تراز مشخصی از ایمنی برای افرادی که از آن استفاده می‌کنند و یا در معرض آن قرار می گیرند می‌شود، به صورتی که هزینه‌های مربوط به نجات افراد بیشتر از طریق اقدامات اضافی، از هزینه نجات زندگی متناظر بیشتر شود.

یادآوری ۱- اصول هزینه نجات زندگی، موجب تسهیل تمایز الزامات خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد شده و موجب تضمین جهت‌گیری تلاش ها بر روی فعالیت‌ها و موقعیت‌هایی می‌شود که بیشترین کارآیی را دارند. انسجام این اصول با اصول فرمول بندی عمومی ALARP[1] که در پیوست چ تشریح شده است را می‌توان مشاهده نمود. به منظور کمی سازی هزینه نجات زندگی، از روش مناسبی مانند شاخص کیفیت زندگی (LQI) استفاده می‌شود. اصول مشابهی نیز اساس تعیین ترازهای قابلیت‌اعتماد هدف برای آئین‌نامه‌های طرح نیمه‌احتمالاتی را شکل می‌دهند، در جائی‌که قابلیت‌اعتماد هدف به صورت تابعی از پیامدهای زوال و کارآمدی بهبود ایمنی ارائه می‌شود(به پیوست چ مراجعه شود).

بسته به مشخصات پروژه‌های خاص، الزامات عملکرد سازه‌ای مرتبط با آسیب به کیفیت محیط‌زیست، کاربری و تعهد به منابع و همچنین انتشار گازهای سمی در اتمسفر می‌توانند به هم مرتبط باشند و باید مدنظر قرارگیرند. در چنین شرایطی الزامات باید مشخص بوده و به ترتیب در چارچوب حداکثر تکرار سالانه وقایع با شدتِ مشخص یا مقادیر موردانتظارِ حداکثر استفاده کل و یا انتشار گاز، مشخص و برآورده شوند. این الزامات باید دیده شده و با یک بهینه سازی اقتصادی به عنوان قیود یا اهداف جایگزین به صورتی که در زیربند ۴-۴-۲-۱ تشریح شده است، لحاظ شوند.

یادآوری ۲- الزامات کیفی محیط زیست، کاربری و تعهد به منابع و انتشار گاز در اتمسفر به صورت کلی تا کنون فرموله نشده است. به هر جهت، در پروژه‌های خاص که پیامدهای محتمل در این زمینه قابل اعتنا باشد، مانند پروژه‌های استخراج نفت و گاز دریایی در مناطق آسیب‌پذیر، سدهای بزرگ و ...، در نظر گرفتن این گونه الزامات باید بخشی از مراحل تصمیم‌گیری باشد.

۴-۳ مبانی مفهومی

۴-۳-۱ تصمیمات سازه‌ای

1- As Low As Reasonably Practicable

درک این نکته الزامی است که تصمیمات سازه‌ای شامل تمامی تصمیمات مرتبط با فرایندهای طرح، اجرا، استفاده، نگهداری و برچیدن سازه‌ها است.

یادآوری- تصمیمات سازه‌ای از جهت مقاومت، تغییرشکل، خصوصیات دوام، ایمنی، اقتصاد، مصالح و مصرف انرژی و از این قبیل موارد، بر روی سازه تاثیر گذاشته و بدین وسیله بر عملکرد و تاثیر آن‌ها بر توسعه پایدار موثر است. این تصمیمات در تراز پروژه‌های منفرد شامل انتخاب های زیر است:

- سامانه سازه‌ای؛
- مصالح؛
- مقاطع عرضی؛
- جزئیات سازه و اتصالات؛
- بازرسی، آزمون و کنترل در آزمایشگاه و کارگاه؛
- اقدامات فعال و انفعالی در تشخیص، جلوگیری و کاهش خسارات؛
- بازرسی، نگهداری و تعمیرات؛
- نوسازی/مقاوم سازی؛
- برچیدن و
- بازسازی.

اعتبار کلیه فرضیات منجر به تصمیمات سازه‌ای، از جمله ارتباط و عدم‌قطعیت وابسته به دانش و اطلاعات موجود، کاربری مورد نظر، عمر بهره‌برداری و همچنین بارهای محیطی و بارهای ناشی از به‌کارگیری بهتر است کنترل، تضمین و ثبت شوند.

همچنین، توصیه می شود از عملکرد مناسب سازه حتی در صورت نقض و یا تغییرات محتمل فرضیات اطمینان حاصل شود.

مدیریت کیفیت نقش اساسی در عملکرد سازه‌ها داشته و باید کاملا در فرایند تصمیم‌گیری‌های مربوط به طرح و ارزیابی سازه‌ها وارد شود(به پیوست الف نیز مراجعه شود). خصوصا برای پروژه‌های منفرد، مدیریت کیفیت و ارزیابی کیفی بهتر است موارد زیر انجام شود:

- طرح کیفیت؛
- کنترل کیفیت طرح؛

- کنترل کیفیت اجرا؛
- کنترل کیفیت مصالح، ابزار و ساخت؛
- کنترل کیفیت تشخیص صلاحیت کارکنان، مهارت و فرایندها؛
- کنترل کیفیت فرضیات و
- مستندسازی کنترل کیفیت و مدیریت کیفیت.

۴-۳-۲ مدل‌سازی عملکرد سازه‌ای

تصمیم‌های طرح باید از طریق الزامات عملکردی که در زیربند ۴-۲-۲ به آن‌ها اشاره شده است ارزیابی شوند. بنابراین، مدل‌ها باید برای این الزامات عملکردی که کمی سازی آن‌ها را ممکن می‌سازند، ایجاد شوند. مدل‌سازی الزامات عملکردی باید شامل تمام موضوع‌های مرتبط با کاربری مورد نظر، ایمنی افراد و همچنین کیفیت محیط‌زیست و صرفه اقتصادی در طول چرخه عمر کامل سازه باشد(به زیربند ۴-۲-۲ مراجعه شود). در مدل‌سازی باید توجه خاص به اندرکنش سازه و پیرامون آن(برای مثال هر رویارویی اعمالی به سازه و همچنین رویارویی که ممکن است در اثر سازه باشد)، وابستگی محتمل بین سازه و برای مثال، سامانه‌های مکانیکی و برقی و همچنین تاثیر خطاهای فردی و سازمانی صورت پذیرد. مدل ها باید بر اساس تشریح سناریو ترتیب‌های مختلف توالی وقایعی که عملکرد را تحت تاثیر قرارمی‌دهند، با درنظرگرفتن احتمال وقوع و پیامدهای آن‌ها، ایجاد شوند.

در تشخیص و تشریح سناریوهای وقایعی که مرتبط هستند؛ وقایع زیر باید متمایز شوند:

- وقایع رویارویی؛ کنش‌ها، خطاهای انسانی و محیط شیمیایی؛
- خسارات اصلی و وقوع زوال؛ پیامدهای مستقیم؛
- عدم عملکرد/یا زوال زنجیره‌ای(پیش رونده)؛ پیامدهای غیرمستقیم.

یادآوری ۱- وقایع رویارویی بیانگر همه وقایعی است که می‌توانند موجب آسیب شده و یا شاخص‌های عملکرد سازه را تحت تاثیر قرار دهند. مثال‌های آن شامل بارهای زمان استفاده و محیطی، مواد مهاجم شیمیایی، خطاهای انسانی، کیفیت ضعیف طرح، مصالح، اجرا و غیره است. بسیار مهم است که سناریوهای رویارویی از قبیل اعمال مشترک بارها و دیگر فرایندهای شیمیایی و محیطی نیز لحاظ شوند.

یادآوری ۲- وقایع آسیب و زوال اجزا اصلی، موارد مربوط به آسیب یا زوال بخش‌هایی از سازه، مانند مقاطع عرضی و اتصالات هستند. مدل‌سازی عملکرد اجزا اصلی منفرد، که حد آسیب دیده یا زوال در یک سناریو داده شده رویارویی است، با رابطه‌سازی و تحلیل توابع حالت‌های حدی پشتیبانی می‌شود(به بند ۵ مراجعه شود).

یادآوری ۳- عدم عملکرد و یا زوال‌های زنجیره‌ای سازه که می‌توانند خسارات جدی و زوال به دنبال داشته باشند و به پیامدهای غیرمستقیم بیانجامند وابسته به سختی است. تعیین کمیت خطرپذیری‌های مربوطه در پیوست ج تشریح شده است(برای مثال به فرمول ج-۴ مراجعه شود).

۴-۳-۳ عدم‌قطعیت‌ها و بهسازی دانش

تصمیمات مربوط به سازه‌ها باید همه عدم‌قطعیت‌های مرتبط با عملکرد آن‌ها مانند تغییرپذیری ذاتی (عدم‌قطعیت ذاتی) و کمبود شناخت(عدم‌قطعیت اطلاعاتی) را به حساب آورد.

عدم‌قطعیت‌ها باید از طریق مدل‌های احتمالاتی مانند متغیرهای اتفاقی، فرایندهای تصادفی و یا میدان‌های اتفاقی، در فرایند تصمیم‌گیری نمود پیدا کند. مدل‌سازی احتمالاتی باید قادر به نمایش وابستگی زمانی و مکانی بین وقایع و عدم‌قطعیت‌های موردنظر باشد.

علاوه بر این، پدیده‌های غیرهمسان[1]، مانند تغییرات اقلیمی و توسعه مطالعات تغییرات زمان‌مند نیز باید در مدل‌سازی لحاظ شود.

یادآوری ۱- تئوری احتمالاتی بیزی اساس ارزیابی کامل طرح بر مبنای خطرپذیری و عدم‌قطعیت را تشکیل می‌دهد(به زیربند ۴-۴-۲ و بند ۶ مراجعه شود). علاوه بر این، تئوری احتمالاتی بیزی اساس استاندارد و آئین‌نامه‌های طرح نیمه احتمالاتی (به زیربند ۴-۴-۳ مراجعه شود) از طریق واسنجی است(به پیوست ث مراجعه شود).

1- Non-ergodic

کمی سازی عدم‌قطعیت‌ها و ارائه احتمالاتی آن‌ها باید تلفیق اطلاعات فرضی و مدارک موجود را تسهیل نماید.

یادآوری ۲- زمانی‌که یک سازه جدید طراحی می‌شود، اطلاعات در خصوص موارد متعددی در حد ابتدایی است. بنابراین عدم‌قطعیت‌های مربوطه نسبتا بزرگ هستند و با در نظر داشتن اطلاعات و تجربیات جمع‌شده در طول زمان مدل‌سازی شده‌اند که معرف برنامه‌های کنترل کیفی و دیگر مشخصات می‌باشند(به پیوست‌های الف و پ مراجعه شود). بهره جویی از بروزسازی مدل‌های احتمالاتی(بیزی) در مورد سازه‌های موجود و در رابطه با آزمون، کنترل و بازرسی و برنامه نگهداری، دارای اهمیت بسیار است(به پیوست ب را مراجعه شود). بدین ترتیب، هرچه شواهد بیشتری در چارچوب مشاهدات به دست می‌آید، خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد بتدریج به روزرسانی می‌شوند.

در طراحی سازه‌ها بر اساس ضرائب آئین‌نامه‌ای بار و مقاومت (LRFD)[1] یا ضرائب اطمینان جزئی (به زیربند ۴-۴-۳ مراجعه شود)، عدم‌قطعیت‌ها باید از طریق مقادیر طرح و مقادیر مشخصه همراه با معادلات ویژه طرح، ضرائب انواع بار و ترکیب بار بیان شود. مقادیر مشخصه در صورت ارتباط، بیانگر اطلاعات مرتبط موجود از جمله بارها و مشخصات مصالح باشد.

رویکردهای نیمه احتمالاتی طرح و ارزیابی سازه‌ها به تفصیل در بند ۹ مورد بحث قرارگرفته است.

۴-۴ رویکردها

۴-۴-۱ کلیات

تصمیمات طرح و ارزیابی باید براساس اطلاعات مرتبط با خطرپذیری‌های ضمنی آن‌ها باشد. زمانی که پیامدهای زوال و آسیب به خوبی درک شده و در محدوده معمول باشد می‌توان ارزیابی بر مبنای قابلیت‌اعتماد را به جای ارزیابی جامع خطرپذیری به کار برد. رویکردهای نیمه احتمالاتی نیز در صورتی که علاوه بر پیامدها، امکان طبقه‌بندی و استانداردسازی مدهای زوال و ارائه عدم‌قطعیت وجود داشته باشد برای ساده سازی مناسب‌تر هستند.

رویکردهای مبتنی بر خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد باید برای واسنجی رویکردهای نیمه احتمالاتی و همچنین برای پشتیبانی تصمیمات طرح و ارزیابی سازه‌های خاص و پروژه‌هایی که توسط آئین‌نامه‌های نیمه احتمالاتی پوشش داده نمی‌شوند، اعمال شود.

۲-۴-۴ رویکردهای خطرپذیری آگاهانه و برمبنای قابلیت اعتماد

۱-۲-۴-۴ تصمیمات خطرپذیری آگاهانه مربوط به طرح و ارزیابی

در یک طرح و یا ارزیابی خطرپذیری‌آگاهانه، تصمیمات باید با درنظر گرفتن مرگ‌ومیر و جراحت، آسیب به کیفیت محیط‌زیست و خسارات مالی و لحاظ کردن جامع خطرپذیری ها بهینه گردد. افق زمانی که باید در ارزیابی جامع خطرپذیری لحاظ گردد باید براساس زمان مورد نظر برای کارکرد سازه تعیین شود.

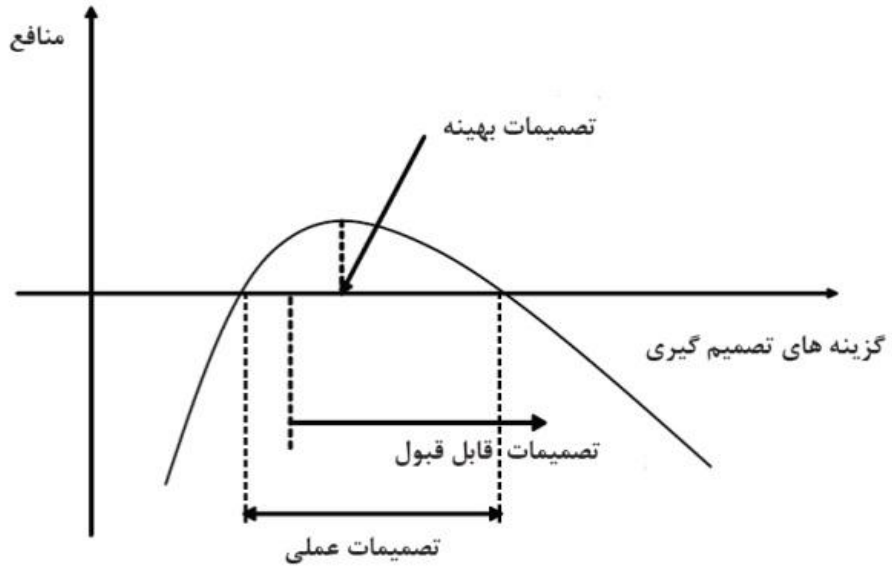
ارزیابی جامع خطرپذیری باید مبنای یک ارائه سناریو(به پیوست ج نیز مراجعه شود) و مدل‌های احتمالاتی رویارویی، خسارات به اجزا اصلی و همچنین پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم انجام شود.

عملکرد سازه‌ها در رابطه با ایمنی جانی و کیفیت محیط زیست بهتر است با درنظر گرفتن قابل پذیرش بودن آن‌ها ارزیابی شود (به زیربند ۴-۲، بند ۷ و پیوست چ مراجعه شود). با این محدودیت‌ها، تصمیمات باید بر مبنای بیشینه‌سازی مقدار سود مورد انتظار بهینه شوند؛ در این فرآیند، شاخص‌های دیگر نیز می‌توانند لحاظ

1- Load and Resistance Factor Design

شوند، منوط به اینکه با اصول عنوان شده در این فصل سازگار باشند.

ملاک پذیرش به صورتی که در زیربند ۴-۲-۲ تشریح شده است باید به عنوان قیود بهینه‌سازی لحاظ شوند و بهتر است در راستی‌آزمایی تصمیمات طرح و بررسی گنجانده شوند. اصول کلی در شکل ۱ تشریح شده است.



شکل ۱- تشریح اصول بهینه‌سازی برای بیشینه سازی منافع

یادآوری ۱- گزینه های محتمل تصمیمات متناظر با افزایش قابلیت اعتماد، در محور طول نشان داده شده است. منافع بر روی محور عرض ها نشان داده شده است و منافع خالص مرتبط با تصمیمات مختلف در طول یک دوره موردنظر زمان را نشان می‌دهد. در تصویر ۱ تصمیمات از طبیعتی پیوسته برخوردارند، هرچند تصمیمات مجزا یا ترکیب آن‌ها را می‌توان به همین

شیوه تنظیم و تشریح کرد. در شکل ۱ می‌توان دید که تنها بعضی تصمیمات، بدلیل آن که سود خالص مثبت نشان می دهند، عملی هستند. یکی از تصمیمات عملی بهینه است اما این تصمیم ممکن است قابل قبول باشد یا نباشد.

در ارزیابی خطرپذیری، همه پیامدهای آتی مورد انتظار باید به حساب آیند. این هم شامل پیامدهای مربوط به عدم‌قطعیت‌ها و هم شامل پیامدهایی که مشخصا به تصمیمات وابسته هستند، مثل هزینه‌های تحمیلی آتی به خاطر برنامه بازرسی و نگهداری یا هزینه جبران مرگ و میری که بالقوه می‌تواند در طول عمر سازه حادث شود(همان گونه که در پیوست ب و پیوست ح تشریح شده است) می‌شود.

در ارزیابی مقدار خالص هزینه‌های آتی، نرخ بهره مورد استفاده باید به دقت انتخاب شود. در مورد تصمیمات مرتبط با سازه‌هایی که به نمایندگی از جامعه ساخته می‌شوند، نرخ تخفیف سالانه پیش فرض برابر با نرخ رشد اقتصادی سالانه است که در کشورهای مختلف متفاوت است.

برای سازه‌هایی که زوال و آسیب آن‌ها می‌تواند پیامدهای جدی به دنبال داشته باشد، یک ارزیابی استحکام خطرآگاه باید به عنوان بخشی از راستی‌آزمایی طرح و یا ارزیابی صورت پذیرد.

یادآوری ۲- پیوست ج روش شناخت ارزیابی استحکام خطرآگاه را تشریح می‌کند. برای مصارف عملیاتی، ممکن است راحت‌تر باشد که تقسیم بندی سازه‌ها براساس پیامدهای زوال آن‌ها معرفی شود و براساس این تقسیم بندی تصمیم‌گیری شود که یک ارزیابی استحکام خطرآگاه ضروری است یا خیر. پیوست چ همچنین شامل پیشنهاداتی برای چنین تقسیم بندی است.

۴-۴-۲-۲ طرح و ارزیابی براساس قابلیت اعتماد

به عنوان گزینه دیگری بر طرح و ارزیابی خطرآگاه سازه‌ها، یک رویکرد برمبنای قابلیت‌اعتماد می‌تواند انتخاب شود. این رویکرد لازم است یک ارزیابی و کمینه‌سازی هزینه و یا کمینه‌سازی مصرف منابع تحت الزامات قابلیت‌اعتماد معلوم برای سازه را به کارگیرد. الزامات قابلیت‌اعتماد باید براساس یک ارزیابی جامع خطرپذیری آگاهانه به صورتی که در زیربند ۴-۴-۲-۱ تشریح شده است ارزیابی شود و به این وسیله تمایز قابلیت‌اعتماد در وابستگی با پیامدهای زوال و هزینه بهبود قابلیت‌اعتماد تسهیل گردد.

یادآوری ۱- الزامات قابلیت‌اعتماد به طور کلی وابسته به ظرفیت جامعه برای سرمایه گذاری در فعالیت های نجات زندگی بوده و بنابراین می‌تواند در جوامع مختلف متفاوت باشد. در پیوست چ، نشان داده شده است که چگونه الزامات قابلیت‌اعتماد بصورت تابعی از پیامدهای زوال و هزینه بهبود قابلیت‌اعتماد برای یک جامعه خاص بنا می‌شود.

اصول کلی برای طرح بر مبنای قابلیت‌اعتماد و تصمیم‌گیری قابلیت‌اعتماد آگاهانه در بند ۸ مشخص شده است.

۴-۴-۳ رویکردهای نیمه احتمالاتی

برای سازه‌هایی که پیامدهای زوال و آسیب آن‌ها کاملا روشن بوده و مدهای زوال قابل طبقه‌بندی و مدل‌سازی به صورت استاندارد باشند، آئین‌نامه‌های نیمه‌احتمالاتی به عنوان مبنای طرح و ارزیابی مناسب هستند. استانداردها باید در خدمت تضمین کیفیت تحلیل، طرح، مصالح، تولید، اجرا، به‌کارگیری، نگهداری و مستندسازی بوده و به تبع آن به صورت صریح یا تلویحی عدم‌قطعیت‌هایی که عملکرد سازه را تحت تاثیر قرار می دهند را لحاظ نمایند. مقررات ارائه شده در استاندارد باید به صورتی باشند که همه عدم‌قطعیت‌های شناخته شده را کمّی نمایند.

آئین‌نامه‌های طرح و ارزیابی نیمه احتمالاتی باید محتوی چارچوب ایمنی باشند که توابع طرح و یا فرآیند های تحلیل را که برای راستی‌آزمایی تصمیمات طرح و ارزیابی مورد استفاده قرارمی‌گیرند را تعیین کنند. این چارچوب ایمنی باید شامل ترکیب بارهایی که باید لحاظ شوند و همچنین شامل رویه محاسبه مقادیر طرح برای کنش‌ها و اثرات کنش‌ها، ویژگی‌های مصالح و دیگر مقادیر وابسته به عدم‌قطعیت‌های مرتبط با طرح باشد.

یادآوری ۱- اصول مدل‌سازی حالات حدی، مقاومت، بارها و کنش‌ها با درنظر داشتن کامل عدم‌قطعیت‌های مرتبط، در بند ۵ و بند ۶ تشریح شده است.

مقادیر طرح اعمال شده در راستی‌آزمایی تصمیمات طرح و ارزیابی باید به روشنی و با استفاده از اصول تحلیل قابلیت‌اعتماد تشریح شده در بند ۹، به قابلیت‌اعتماد سازه مرتبط شوند. برای ایجاد یک آئین‌نامه طرح و ارزیابی، مقادیر طرح باید به صورتی تنظیم شوند که تراز قابلیت‌اعتماد بدست آمده برای سازه با نوع و کاربرد خاص، نزدیک به قابلیت‌اعتماد هدف از پیش تعیین شده باشد(به زیربند ۴-۲، ۸-۸ و پیوست چ مراجعه شود).

یادآوری ۲- در متن فوق با هدف تاکید بر اینکه قابلیت‌اعتماد سازه می‌تواند از آنچه مدل و کمیت گذاری شده متفاوت باشد، به قابلیت‌اعتماد اسمی ارجاع شده است. عمده این تفاوت‌ها به علت درنظرگرفته نشدن خطاهای انسانی و تشکیلاتی در مدل‌سازی حادث می‌شوند.

برای طرح و ارزیابی سازه‌ها براساس ضرائب بار و مقاومت یا ضرائب جزئی، چه از طریق ارزیابی استحکام خطرآگاه و چه از طریق مقررات استحکام، عملکرد سامانه بسته به پیامدهای زوال آن باید تضمین شود. مورد دوم شامل طرح عضو بحرانی، قیود سازه‌ای و قطعه بندی سازه بوده و وابسته به سامانه سازه‌ای و پیامدهای زوال سامانه است(به پیوست ج مراجعه شود).

۴-۵ مستندسازی

تصمیمات مرتبط با طرح و همچنین راستی‌آزمایی آن‌ها نسبت به ملاکهای پذیرش، باید به صورتی که برای تمامی ذینفعان مرتبط شفاف و قابل مرور باشد، مستندسازی شوند که شامل طرح و ارزیابی سازه‌ها و همچنین توسعه و واسنجی آئین‌نامه‌ها است.

مستندسازی باید حاوی تمام اطلاعات مربوطه برای انجام طرح و ارزیابی سازه ازجمله اطلاعات خاص ساختگاه، نتایج آزمایشات، مدل شاخص‌های عملکرد، نتایج بازرسی، اطلاعات مربوط به خسارات و همین طور نگهداری و تعمیرات، ملاک‌های پذیرش و راستی‌آزمایی آن‌ها، رویه‌های کنترل کیفی و نتایج آن‌ها و غیره باشد.

علاوه بر این، تمام فرضیه‌های مرتبط باید مشخص شده و براساس اهمیت آن‌ها برای خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد سازه مورد بحث قرارگیرند. این شامل فرضیات مربوط به کاربری ساختمان، نگهداری موردنظر و همچنین الزامات عملکردی احتمالی تعیین شده توسط مالک سازه نیز می‌شود.

یادآوری- پیشنهادات تفصیلی در مورد مستندسازی تصمیمات مربوط به سازه را می‌توان در پیوست الف یافت، در آنجا حتی در بعضی موارد صدور شناسنامه نیز توصیه شده است.

۵ مدل‌سازی عملکرد

۵-۱ کلیات

۵-۱-۱ عملکرد سازه‌ای و مفهوم حالت حدی

به منظور بررسی عملکرد سازه‌ای یک سازه، لازم است پاسخ های سازه‌ای محتمل بررسی شده و به دو دسته حالات مطلوب و نامطلوب تقسیم شوند. مرز بین این دو منطقه، حالت حدی نامیده شده و وارد شدن به بخش نامطلوب را زوال می‌نامیم. مفهوم حالت حدی در ۵-۳ با جزئیات بیشتر تشریح گردیده است.

یادآوری۱- به طور کلی، این مفهوم حالت حدی در ارزیابی عملکرد سازه بسیار مفید است. اما در بعضی موارد، تغییر تدریجی‌تری همراه با افزایش هزینه عدم کارکرد صحیح، بین رفتار مطلوب و نامطلوب وجود دارد.

یادآوری۲- عملکرد مطلوب می‌تواند وابسته به ذینفعان پروژه باشد از جمله موسسین، مالکین، ساکنین، کارکنان، استفاده کنندگان، همسایگان(در صورتی که اجرا مزاحمت برای ایشان ایجاد کند) و پیمانکاران. ذینفعان دیگر پروژه دولت و جامعه هستند. گروه دوم معمولا در درجه اول به مسائلی مانند ایمنی و پایداری اهمیت می‌دهند.

۵-۱-۲ عملکرد و شاخص‌های عملکرد

عملکرد یک سازه به کل سازه و یا اجزای آن وابسته است. برای ارزیابی عملکرد، باید مجموعه‌ای از شاخص‌های کمی عملکردی انتخاب شود که حالت‌های فیزیکی را که می‌تواند در رابطه با الزامات عملکردی مورد استفاده قرارگیرند را بیان کند. شاخص‌های عملکرد می‌توانند در ترازهای انتزاعی مختلف برای موارد زیر تعریف شوند:

- خصوصیات سازه‌ای (برای مثال سختی/انعطاف پذیری، ظرفیت باربری)؛
- پارامترهای پاسخ (مانند نیروهای داخلی، تنش، تغییر شکل، شتاب، اندازه ترک)؛
- نکات بهره برداری؛
- قابلیت‌ها (مانند ایمنی افراد، مصرف سوخت، استواری، قابلیت استفاده، در دسترس بودن، احتمال زوال)؛

مدل ها باید چنان باشند که رابطه بین ترازهای مختلف را ایجاد نمایند(به بند ۶ مراجعه شود).

۵-۱-۳ الزامات عملکردی پایه و موقعیت‌های طرح

الزامات عملکردی بند ۴ باید برای تمام موقعیت‌های طرح/ارزیابی صدق کند، موقعیت‌هایی که می‌تواند به صورت زیر طبقه‌بندی شود:

- موقعیت‌های پایدار، که به شرایط استفاده معمول از سازه برمی‌گردد؛
- موقعیت‌های انتقالی، که به شرایط موقتی سازه از نظر استفاده یا رویارویی برمی‌گردد و
- موقعیت‌های تصادفی، مربوط به شرایط استثنایی سازه یا رویارویی.

در برنامه‌ریزی دقیق الزامات عملکرد برای موقعیت‌های مختلف طرح، شرایط مکانی، تغییرات زمانی و فرسودگی در صورت ارتباط، باید لحاظ شوند.

۵-۱-۴ ترازهای راستی‌آزمایی

برای راستی‌آزمایی قابلیت سازه برای برآورده ساختن اهداف در تمامی موقعیت‌های طرح، یکی از ترازهای زیر باید انتخاب شود:

الف- بر مبنای خطرپذیری: باید اثبات شود که تمامی جنبه‌های ایمنی انسانی بر اساس بند ۴ و/یا قوانین و آئین‌نامه‌های محلی رعایت شده است و جمع تمام هزینه ها (هزینه‌های ساختمان، نگهداری و غیره) و خطرپذیریهای اقتصادی (به نسبت زوال یا عملکرد ناقص) کمینه است.

ب- برمبنای قابلیت اعتماد: سازه باید مجموعه‌ای از الزامات قابلیت‌اعتماد را که به صورت حداکثر احتمال زوال قابل قبول یا حداقل مقداری که برای ترازهای قابلیت‌اعتماد حداقل فرموله شده است را برآورده سازد.

پ- تراز نیمه احتمالاتی: سازه باید مجموعه‌ای از نامساوی‌ها را، با استفاده از مقادیر طرح مشخص متغیرهای پایه، برآورده نماید.

تراز راستی‌آزمایی خطرپذیری آگاهانه را باید بالاترین تراز درنظر گرفت. ترازهای پائین‌تر راستی‌آزمایی را برای نیل به تراز بالاتر باید با استفاده از اصول واسنجی آئین‌نامه به شکلی که در بند ۹ آمده تنظیم نمود.

یادآوری- معمولا این تنظیم توسط کمیته های تدوین انجام می‌شود و به طراح اجازه می‌دهند تا از روش‌های راستی‌آزمایی تراز ۳ استفاده کنند؛ فقط برای سازه‌های خاص یک بررسی برمبنای خطرپذیری انجام می‌شود.

در تمام ترازها، باید از مفهوم حالت حدی و مدل عملکرد استفاده شود (به زیربند های ۵-۲ و ۵-۳ مراجعه شود).

۵-۲ مدل عملکرد

۵-۲-۱ کلیات

برای ایجاد رابطه بین رویارویی و خصوصیات سازه‌ای از یک طرف و شاخص‌های عملکرد از طرف دیگر، مجموعه‌ای از مدل ها باید استفاده شود.

مدل‌ها باید به صورتی ایجاد شوند که سازه، محیط (خاک، آب، هوا) و همه اثرات متقابل مکانیکی، فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی یا طبیعی را نشان دهد. در بسیاری از موارد، ممکن است بتوان مدل هایی برای یک سامانه در نظر گرفت که شامل چندین سازه، موارد محیطی، اعضای غیرسازه‌ای، تجهیزات و ماشین آلات، سامانه‌های کنترل و غیره باشد.

میزان دقت مدل باید به شکلی انتخاب شود که جوابگوی کاربرد موجود باشد؛ عدم‌قطعیت‌های متناظر در مدل باید مشخص شده و به صورت کمیت‌های قابل اندازه‌گیری تعریف شود.

یادآوری- عموما ممکن است بهتر باشد که کار با یک فرآیند مشاهده خطرپذیری آغاز شده و سپس با تعریف مجموعه‌ای از سناریوهای خطر دنبال شود. واژه سناریو خطر به مجموعه‌ای از موقعیت‌های گذرای زمانی برمی‌گردد که برای یک سامانه رخ می‌دهد و می‌تواند موجب خطر برای خود سامانه، مردم و یا محیط زیست شود.

۵-۲-۲ جنبه‌های وابسته به زمان (زمانمند)

مدل‌های عملکرد باید تغییرات خصوصیات سازه‌ای و همچنین بارها نسبت به زمان به صورت همسان (ergodic) و غیر همسان (اتفاقی و سامانه‌ای) لحاظ نمایند.

خصوصا باید موارد زیر لحاظ شود:

- زمانمندی هنگامی که اثرات بار در اثر کنش‌ها هم زمان تحلیل می‌شود.
- اثرات پویایی، زمانی که نیروهای لختی قابل توجه هستند.
- سازوکارهای استهلاک، که ممکن است طبیعتی مکانیکی (مانند خستگی، تاثیرات مدت بارگذاری)، فیزیکی/ شیمیایی(خوردگی، نفوذ کلرید) و یا ترکیبی از آن‌ها (خوردگی تنش) داشته باشند.

در مورد آخرین مورد ممکن است لازم باشد تا بازرسی، کنترل و نگهداری در مدل گنجانده شود.

یادآوری- به پیوست ب مراجعه شود.

۵-۲-۳ جنبه‌های سامانه‌ای

راستی‌آزمایی الزامات کاربردی باید شامل موارد زیر بوده و لحاظ شود:

- تمام مدهای زوال؛
- ارتباط متقابل بین مدهای زوال؛
- ارتباط متقابل بین سازه و محیط اطراف آن (باد، آب، خاک، استفاده)؛
- اعضای غیرسازه‌ای (جداکننده ها، سقف، نما، تجهیزات برقی، هیدرولیکی و مکانیکی مرتبط)؛
- فعالیت‌های بازرسی و تعمیر، کنترل کیفیت؛
- قابلیت‌ها؛
- جنبه‌های محیطی (مصرف سوخت، کاهش سر و صدا) و
- جنبه‌های پایداری (تاثیر بر سلامت انسان‌ها، مالکیت اجتماعی، تنوع زیستی).

تراز سامانه مناسبی باید برای مراحل ارزیابی انتخاب شود؛ باید به فرموله کردن صحیح شرایط مرزی فیزیکی و عملکردی، توجه درخور داده شود.

یادآوری- مورد دوم اغلب توسط کمیته های تدوین آئین‌نامه و با تعریف محدودیت‌هایی برای جنبه‌های زیست محیطی و پایداری انجام می‌شود، این محدودیت ها هنوز در حال توسعه هستند.

۵-۳ حالات حدی

۵-۳-۱ حالت حدی نهایی

حالات حدی نهایی، مربوط به حالتهای نامطلوب زیر هستند (غیرجامع):

- از دست رفتن تعادل سازه یا بخشی از آن که جسم صلب درنظر گرفته شده است؛
- رسیدن به حداکثر ظرفیت مقطع عرضی، عضو یا اتصال به صورت لحظه‌ای در اثر جاری شدن، پارگی یا تغییر شکل بیش از حد؛
- زوال اعضا یا اتصالات در اثر خستگی یا دیگر تاثیرات وابسته به زمان؛
- ناپایداری سازه یا بخشی از آن؛
- تغییر ناگهانی سامانه مفروض سازه‌ای به یک سامانه جدید (مانند کمانش ناگهانی، شکل گیری ترک‌های بزرگ) و
- زوال پی (فونداسیون)

تقریبا همیشه تجاوز از حالت حدی نهایی برگشت‌ناپذیر بوده و زمانی که برای اولین بار حادث شود موجب زوال خواهدشد. حالت حدی نهایی می‌تواند در نتیجه بروز یک کنش شدید یا در اثر فرآیند فرسودگی در طول زمان و به دنبال آن وقوع یک کنش (نسبتا) شدید باشد.
حالت‌های حدی نهایی می‌تواند به اعضای سازه‌ای و یا کل سامانه سازه‌ای اطلاق شود؛ حالت دوم شامل اثرات استحکام نیز می‌شود (به پیوست ج مراجعه شود).

۵-۳-۲ حالت حدی قابلیت بهره‌برداری

حالت حدی بهره‌برداری مربوط به ازدست رفتن قابلیت مورد نظر در کاربرد معمول سازه است و می‌تواند مربوط به هریک از حالات نامطلوب زیر باشد:

- تغییر شکل‌های غیر قابل قبول که استفاده موثر یا شکل اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای و یا عملکرد تجهیزات را تحت تاثیر قرار دهد.
- لرزش‌های زیاد که می‌تواند موجب ناراحتی افراد شود یا اعضای غیرسازه‌ای یا عملکرد تجهیزات را تحت تاثیر قراردهد.
- خسارات موضعی که ظاهر، کارآیی یا قابلیت‌اعتماد کاربردی سازه را متاثر کند.
- خسارات موضعی (شامل ترک) که می‌تواند دوام سازه را کاهش داده و استفاده از آن را غیر ایمن نماید.

یادآوری- مورد آخر اغلب تحت عنوان حالت حدی دوام شناخته می‌شود.

در مورد خسارات موضعی یا تغییر شکل‌های غیرقابل قبول دائمی، تجاوز از حالت حدی قابلیت بهره‌برداری برگشت‌ناپذیر بوده و اولین بار که حادث شود به منزله زوال است. در موارد دیگر تجاوز از حالت حدی قابلیت بهره‌برداری می‌تواند برگشت‌پذیر باشد و حالات زیر زوال محسوب می‌شود:

- نخستین باری که از حالت حدی قابلیت بهره‌برداری تجاوز شود، در صورتی که هیچ تجاوزی از آن حد قابل قبول نباشد.
- زمانی‌که تجاوز از حالت حدی مجاز باشد، اما مدتی که سازه در حالت نامطلوب قرارگرفته است طولانی تر از مقدار قابل‌قبول باشد.
- زمانی که تجاوز از حالت حدی مجاز باشد، اما تعداد تجاوز از حالت حدی قابلیت بهره‌برداری بزرگ‌تر از مقدار مشخص شده باشد.
- چنانچه ترکیبی از معیارهای بالا رخ دهد.

این موارد می‌توانند شامل خسارات موضعی موقت (مانند ترک های عریض یا نشت)، لرزش‌ها و تغییر شکل‌های بزرگ موقتی باشند. مقادیر حدی حالت حدی قابلیت بهره‌برداری بهتر است بر اساس پیامدهای آن‌ها تعریف شوند.

۵-۳-۳ حالت حدی شرطی

حالت حدی شرطی می‌تواند متناظر با یکی از وضعیت های زیر باشد:

- تخمینی از یک حالت حدی واقعی که یا به خوبی تعریف نشده یا محاسبه آن مشکل است. مثال‌های آن استفاده از حد الاستیک به عنوان حالت حدی نهایی و استفاده از اثرپذیری به جای حالت حدی دوام است (به این شرایط، حالت حدی آغازین نیز اطلاق می‌شود)؛

یادآوری ۱- از جنبه تئوری، الزامات دوام مناسب، همواره در این واقعیت مستتر است که ایمنی و قابلیت بهره‌برداری برای دوره زمانی خاصی مورد نیاز هستند. هرچند به دلایل عملی ممکن است افزودن حالت‌های حدی مشخص مربوط به دوام (مانند استاندارد ISO 13822 و استاندارد ISO 13823) یا حالات حدی مرتبط با شرایط مشخص (غیر بحرانی) مفید باشد. الزامات قابلیت‌اعتماد برای حالت حدی شرطی باید با حالت حدی نهایی اصلی سازگار باشد.

- خسارات موضعی (از جمله ترک) که می‌تواند دوام سازه را کاهش دهد یا کارآیی و یا ظاهر اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای را تحت تاثیر قراردهد؛
- آستانه حالت حدی اضافه در صورت کاهش عملکرد به طور پیوسته..

یادآوری ۲- همان گونه که در یادآوری ۱ زیربند ۵-۱-۱ اشاره شد، پیش فرض یک حالت حدی، وقوع یک افت یا آسیب ناگهانی در اثر تغییر جزئی در شرایط یا رویارویی است. اما در برخی موارد افت ها به آهستگی رخ می‌دهند، یک راه حل می‌تواند معرفی یک تقسیم بندی فضای نتایج نامطلوب به چندین تراز افت فرعی باشد. به عنوان مثال می‌توان در تحلیل زلزله حالات حدی آسیب جزئی نیازمند تعمیر و فروریزی را تعریف نمود.

۵-۳-۴ تابع حالت حدی

برای هر مدل مشخص حالت حد، که رفتار یا عملکرد سازه را تشریح می‌کند، در صورت امکان، باید یک تابع حالت حدی ایجاد گردد و متغیرهای پایه مربوط به آن نیز باید مشخص شوند.

تابع حالت حدی بصورت $g(\mathbf{X})$ نمایش داده می‌شود و $\mathbf{X}=(X1,X2,..)^T$ متغیرهای پایه (اتفاقی) هستند.

رابطه (۱) معادله حالت حدی خوانده می‌شود و نامساوی زیر، محدوده نامطلوب را مشخص می‌کند.

$$g(\mathbf{X}) = 0 \qquad (۱)$$

$$g(\mathbf{X}) < 0 \qquad (۲)$$

مجموعه متغیرهای پایه $\boldsymbol{X}$ باید بصورتی تعریف شود که شامل همه اطلاعات ورودی اتفاقی مورد نیاز برای مدل باشد؛ به طور کلی، مجموعه متغیرهای پایه شامل موارد زیر خواهند بود:

الف- کمیت‌های فیزیکی، که کنش‌ها را توصیف می‌کنند، تاثیرات محیطی، مشخصات مصالح و خاک و ابعاد هندسی؛

ب- پارامترهای مدل که خود مدل را مشخص می‌کنند؛

پ- پارامترهایی که الزامات مربوط به عملکرد سامانه سازه‌ای را تشریح می‌کنند (حدود قابلیت بهره‌برداری).

تابع حالت حدی همچنین می‌تواند شامل پارامترهای معین قطعی و همچنین زمان، t باشد.

یادآوری ۱- برای حالات حدی نهایی و حالات حدی برگشت ناپذیر، معمولا مقدار حداقل $g(..)$ در طول عمرکاری مورد انتظار، مشخص می‌شود؛ برای حالات حدی برگشت‌پذیر، تعداد تجاوز مشخص و یا مدت زمان مشخص (تجمعی) قرارگرفتن در محدوده زوال می‌تواند قابل قبول باشد.

یادآوری ۲- حالت حدی قابلیت‌بهره‌برداری می‌تواند با تعریف یک قید خدمت‌سانی مشخص شود، برای مثال یک حد تغییرمکان معادل c ضربدر طول دهانه L یک عضو سازه‌ای. در این گونه موارد، قید C (مثلا ۱/۵۰۰) می‌تواند به عنوان مقدار طرحِ یک متغیر اتفاقی ارائه شود. در آن حالت، C همچنین می‌تواند به عنوان یک متغیر پایه اتفاقی نیز تعریف شود.

یادآوری ۳- در یک تحلیل اجزا اصلی که یک مد زوال غالب موجود است، معمولا وضعیت حالت حدی می‌تواند توسط یک تک معادله براساس رابطه (۱) تشریح شود. در یک تحلیل سامانه، که ممکن است چندین مد زوال حاکم باشد، چند معادله وجود خواهد داشت. در یک سامانه کلی، مدهای مختلف زوال را می‌توان به شکل مخلوطی از دنباله‌های منطقی و سامانه‌های موازی نمایش داد.

۶ ارائه و مدل‌سازی عدم قطعیت

۶-۱ کلیات

۶-۱-۱ انواع عدم قطعیت

متغیرهای پایه که در زیربند ۵-۳-۴ تعریف شدند می‌توانند معرف یک یا چند منبع عدم‌قطعیت باشند، برای مثال تغییرات ذاتی طبیعی، عدم‌قطعیت‌های آماری، عدم‌قطعیت‌های اندازه‌گیری، عدم‌قطعیت‌های مربوط به دقت اطلاعات جدید و عدم‌قطعیت‌های مدل. تمام منابع عدم‌قطعیت باید مشخص گردند.

یادآوری ۱- عدم‌قطعیت‌های فیزیکی معمولا عدم‌قطعیت‌هایی هستند که وابسته به محیط بارگذاری، هندسه سازه و ویژگی‌های مصالح هستند و اغلب به عنوان عدم‌قطعیت‌های ذاتی شناخته می‌شوند.

یادآوری ۲- عدم‌قطعیت‌های ناشی از کمبود اطلاعات، برای مثال، ناشی از کمبود نتایج آزمون یا مدل‌های ایده‌آل، اغلب به عنوان عدم‌قطعیت‌های اطلاعاتی شناخته می‌شوند.

یادآوری ۳- یک متغیر اتفاقی هم می‌تواند معرف عدم‌قطعیت‌های ذاتی و هم اطلاعاتی باشد. علاوه بر این، عدم‌قطعیت‌ها می‌توانند در فازهای مختلف طول عمر سازه تغییر ماهیت دهند. برای مثال یک خصوصیت مصالح که قبل از اجرای سازه، عدم‌قطعیت ذاتی درنظر گرفته می‌شود، پس از اجرای سازه می‌تواند بعنوان عدم‌قطعیت اطلاعاتی درنظر گرفته شود.

یادآوری ۴- در طرح ژئوتکنیکی، منبع غالب عدم‌قطعیت‌ها خصوصیات خاک و مدل محاسباتی است. این منابع اصلی در پیوست ت کاملا تشریح شده‌اند. مضافا اینکه، پیوست ت مدل‌سازی احتمالاتی و مشارکت عدم‌قطعیت در تحلیل و طرح قابلیت‌اعتماد سازه‌های ژئوتکنتیکی را نیز ارائه می‌کند.

۶-۱-۲ نحوه اعمال عدم قطعیت

تمام عدم‌قطعیت‌هایی که برای ارزیابی قابلیت‌اعتماد سامانه سازه‌ای مهم تلقی می‌شوند باید بر اساس تئوری احتمالات درنظر گرفته شوند.

یادآوری- در تحلیل قابلیت‌اعتماد سازه‌ای، هیچ تفاوتی نباید بین عدم‌قطعیت‌های ذاتی و اطلاعاتی قائل شد. این تفاوت فقط به جهت جلب توجه بر نحوه کاهش آن از طریق آزمایش یا تحقیقات دقیق، تعریف شده است. مورد مشابه این مطلب در مورد ارتباطات خطرپذیری و به‌روزرسانی قابلیت‌اعتماد سازه نیز می‌تواند وجود داشته باشد(به پیوست ب مراجعه شود).

۶-۱-۳ تفسیر احتمالات

در تحلیل قابلیت اعتماد، تفسیر احتمالاتی بیزی باید به عنوان دقیق‌ترین مبنا برای بیان عدم‌قطعیت‌ها، صرفنظر از منبع آن‌ها، لحاظ شود. این کار، لحاظ کردن مشترک عدم‌قطعیت‌های مطلقا نظری، عدم‌قطعیت‌های تحلیلی و شواهد حاصل از مشاهدات را تسهیل می‌سازد.

یادآوری ۱- در تئوری احتمال بیزی، مقادیر احتمالات بر مبنای یک ترکیب مناسب از داده ها، مباحث تئوریک و قضاوت، تخمین زده می‌شود. هیچ تفاوتی میان عدم‌قطعیت‌های ذاتی و اطلاعاتی نیست. چنانچه مقادیر زیاد داده موجود باشد، نتایج تفسیر بیزی با روش احتمال مکرر یکی خواهد شد.

یادآوری ۲- در مدل‌سازی یک متغیر پایه اتفاقی X، روش تحلیل احتمالاتی بیزی به این صورت است که یک یا چند پارامتر θ (برای مثال میانه یا انحراف از معیار) از مدل احتمالاتی (برای مثال تابع توزیع احتمال) به عنوان متغیر اتفاقی مدل می‌شود. آنگاه اطلاعات متواتر یا نظری موجود در مورد X می‌تواند در مدل‌سازی احتمالاتی θ به کار رود.

۶-۱-۴ مدل‌های احتمالاتی

بسته به ماهیت مساله قابلیت اعتماد، متغیرهای پایه می‌توانند به صورت متغیرهای اتفاقی، فرایندهای اتفاقی و میدان‌های اتفاقی پیوسته و یا گسسته بیان شوند.

مدل‌های احتمالاتی باید خصوصیات عدم‌قطعیت‌های متغیرهای پایه اتفاقی را تشریح نموده و همچنین وابستگی میان آن‌ها را لحاظ نمایند.

یادآوری ۱- وابستگی‌ها معمولا در اثر ارتباطات علت و معلولی، مکانی و یا زمانی و یا حالات ارگادیک پدیده مبنا و همچنین عدم‌قطعیت‌های آماری و یا مدل که عدم‌قطعیت‌های متغیرهای منفرد را تحت تاثیر قرار می‌دهند، به وجود می‌آیند.

یادآوری ۲- هرچند در بعضی موارد لازم است پدیده های متغیر را از طریق فرایند یا میدان اتفاقی مدل کرد، اغلب راحت‌تر و همچنین قابل قبول است که تنها بر حدود نهایی تمرکز کرد و تا جایی که حالات حدی نهایی مد نظر است، آن‌ها را از طریق توزیع مقادیر حدی بیان نمود.

مدل‌های احتمالاتی باید همچنین امکان به روز رسانی مدل از طریق اطلاعات اضافه‌ای که برای مثال توسط آزمایش، آزمون، بازرسی و نظارت در دسترس خواهند بود، فراهم نمایند. رابطه به روزرسانی بیزی، مبنای عملیاتی برای این کار را ارائه می‌نماید.

یادآوری - اطلاعات تفصیلی را می‌توان در پیوست‌های ب و پ یافت.

۶-۱-۵ جمعیت آماری/ فضای نتایج

تشریح کمیت‌های متغیر با مدل‌های احتمالاتی نیازمند یک فضای نتایج بخوبی تعریف شده (یا جمعیت) است و نتایج تحلیل قابلیت اعتماد، تنها برای مجموعه های مشابه معتبر است.

یادآوری ۱- به نظر می رسد واژه جامعه آماری برای متغیرهای اتفاقی طبیعی مناسب‌تر باشد در حالی که فضای خروجی برای عدم‌قطعیت‌های آگاهی‌دهنده استفاده می‌شود.

در اکثر موارد، مبنای تعریف فضای نتایج یا جامعه آماری، از پدیده فیزیکی که متغیر را تعریف کرده یا متاثر می‌کند، گرفته می‌شود. عواملی که می‌توانند جامعه آماری را شاخص کنند عبارتند از:

- ماهیت و منشا کمیت اتفاقی
- شرایط مکانی (برای مثال لحاظ کردن ناحیه جغرافیایی)
- شرایط زمانی (برای مثال عمر بهره‌برداری طرح). انتخاب یک جامعه آماری باید با درنظر گرفتن کامل اهداف، تعداد و ماهیت داده های موجود انجام شود.

یادآوری ۲- برای مثال ممکن است راحت‌تر باشد که یک جامعه آماری به چند زیرمجموعه تقسیم شود (ریزپهنه‌بندی). زمانی‌که نتایج برای طراحی در آئین‌نامه ملی یا بین‌المللی استفاده می‌شود، ممکن است لازم و یا راحت‌تر باشد که مجددا

زیرمجموعه‌ها را کنار هم قرارداد و دوباره یک جامعه آماری بزرگ ایجاد نمود تا به این وسیله از پیچیدگی ضوابط جلوگیری شود. این به آن معنی است که تغییرپذیری در جامعه آماری افزایش یافته است.

۶-۱-۶ مدل‌سازی ترتیبی عدم قطعیت

مدل‌سازی ترتیبی در صورت امکان، برای مدل کردن انواع مختلف کنش‌ها و مصالح پیشنهاد می‌شود. مدل ترتیبی فرض می‌کند که یک کمیت اتفاقی را می‌توان به صورت تابعی از چندین متغیر نوشت که هر یک نماینده نوعی مشخص از تغییرپذیری است:

$$X_{ijk} = f(Y_i, Y_{ij}, Y_{ijk}) \qquad (۳)$$

متغیرهای Y_i و Y_{ij} و Y_{ijk} معرف منشاهای متفاوت، مقیاس تغییرات زمانی یا مقیاس تغییرات مکانی هستند.

یادآوری - برای مثال، Yi می‌تواند نماینده یک عدد ثابت در تغییرات زمانی باشد، Yij یک فرایند با تغییرات آهسته زمانی و $Yijk$ یک فرایند با تغییرات زمانی سریع. مثلا در مورد باد، Yi را می‌توان عدم‌قطعیت در ضریب فشار(Cp)، درنظر گرفت، Yij میانگین سرعت باد در ساعت (vh) و $Yijk$ فرایند میانگین صفر تندباد($v(t)$):

$$X_{ijk} = \frac{1}{2}\rho C_p(v_h^2 + 2v_h v) \qquad (۴)$$

درجایی که ρ چگالی هوا است.

در مورد تاب بتن، Y_i می‌تواند نماینده تغییرات سازه به سازه باشد، Y_{ij} تغییرات از سقف به سقف در ساختمان i و Y_{ijk} نماینده تغییرات نقطه به نقطه در سقف j.

۶-۲ مدل‌های تحلیل سازه

۶-۲-۱ کلیات

مشخصه های قطعی برای تشریح رفتار فیزیکی سامانه سازه‌ای می‌توانند به صورت زیر طبقه‌بندی شوند:

- کنش‌ها و تاثیرات محیطی
- مشخصات هندسی
- ویژگی‌های مصالح و یا خصوصیات اعضای سازه‌ای
- اقدامات کنترلی فعال و غیرفعال

مدل‌ها باید قادر باشند رفتار سامانه‌های سازه‌ای را تا رسیدن به حالت حدی موردنظر تشریح نمایند. معمولا انتظار می‌رود مدل ها با لحاظ نمودن کنش‌های مهم و حذف کنش‌های با اهمیت کمتر، به نحوی ساده‌سازی انجام دهند. عدم‌قطعیت در خود مدل‌ها در زیربند ۶-۴ عنوان شده است.

قابلیت‌اعتماد اقدامات کنترلی فعال و انفعالی (مثل نصب افشانه آب یا میراگرهای فعال) نیز باید مدل شده و با تحلیل خطرپذیری کلی همراه باشد، اما دستورالعمل خاص آن خارج از دامنه این استاندارد است.

۶-۲-۲ کنش‌ها و تاثیرات محیطی

۶-۲-۲-۱ کلیات

تشریح کنش‌ها باید براساس مدل‌های مناسب ریاضی باشد که خصوصیات زمانی، مکانی و راستایی یک کنش در کل سازه را تشریح نماید. انتخاب تراز جامعیت جزئیات، باید با تعادل میان کیفیت اطلاعات در دسترس و یک مدل‌سازی اثر کنش با دقت معقول، هدایت شود. انتخاب تراز واقع گرایی و دقت در پیش‌بینی کنش

مربوطه به نوبه خود توسط حساسیت تصمیمات ضمنی طرح به تغییرات این تراز و وزن اقتصادی این تصمیمات هدایت می‌شود. بنابراین، پدیده‌های دارای کنش‌های یکسان، بسته به تاثیرات و سازه تحت بررسی، می‌توانند به مدل‌های متفاوتی منجر شوند.

یادآوری - محیطی که سامانه‌های سازه‌ای در آن فعالیت می‌کنند، موجب افزایش نیروهای داخلی، تغییر شکل، فرسودگی مصالح و دیگر تاثیرات کوتاه مدت و درازمدت می‌شود. به آنچه موجب این تاثیرات می‌شود کنش گفته می‌شود.

محیطی که منشا کنش‌ها است می‌تواند طبیعی یا مصنوع بشر باشد، برای مثال برف، زلزله یا آتش‌سوزی. مفاهیم زیر می‌توانند در توصیف جنبه‌های کنش‌ها مفید باشند:

- یک کنش مجموعه‌ای از نیروهای متمرکز یا گسترده است که به سازه اعمال می‌شوند. این نوع کنش به عنوان بار نیز شناخته می‌شود.
- کنشی که در اثر تغییر شکل‌های اعمالی و یا اثرات حرارتی در سازه باشد. به این نوع از کنش‌ها، کنش غیرمستقیم نیز گفته می‌شود.

الزامات مشابهی برای تاثیرات محیطی، که می‌تواند با گذشت زمان در ویژگی‌های مصالح یا ابعاد سازه تغییر ایجاد کند، صدق می‌کند.

۶-۲-۲-۲ طبقه بندی

کنش‌ها را می‌توان بر اساس تعدادی از خصوصیت‌ها طبقه‌بندی نمود. به نسبت نوع کنش‌ها، موارد زیر که جامعیت ندارد را می‌توان در نظر گرفت:

- وزن اجزا سازه‌ای و غیر سازه‌ای؛
- بارهای وارده بر ساختمان، مثل بار اشخاص یا تجهیزات؛
- بار ناشی از فعالیت های صنعتی، مثل بارهای سیلو؛
- بارهای ناشی از حمل و نقل: ترافیک، مایعات داخل لوله ها، ضربه و غیره؛
- کنش‌ها اقلیمی، مانند بار برف، بار باد، دمای خارج ساختمان و غیره؛
- دمای داخل ساختمان، آتش؛
- بارهای هیدرولیکی، مثل فشار آب یا آبهای زیرزمینی؛
- کنش‌های ژئوتکنیکی از خاک یا سنگ، شامل فشار خاک، لغزش زمین و زلزله، ارتعاشات زیرزمینی، نشست و
- بارهای خاص مراحل تولید و اجرا.

این طبقه‌بندی تمام کنش‌های ممکن را پوشش نمی‌دهد اما اکثر کنش‌های موجود می‌توانند در یک رده یا بیشتر قرارگیرند. برخی از این رده‌ها به طور کلی جزو یکی از کنش‌های غیرقابل کنترل یا قابل کنترل هستند و بعضی از کنش‌ها، مانند فشار آب عضو هردو گروه هستند.

به نسبت تغییرات به زمان، کنش‌ها می‌توانند به صورت زیر در نظرگرفته شوند:

- کنش‌های دائمی؛
- کنش‌های متغیر و
- کنش‌های تصادفی.

کنش‌ها زمانی باید به عنوان کنش دائمی طبقه‌بندی شوند که تغییرات آن‌ها نسبت به میانگین اندک و ملایم باشد(مانند وزن اجزا، بالاست، فشار خاک) یا با نرخ ثابت به یک حد مشخص تغییر کند (مانند فشار پیش تنیدگی، تغییر شکل اعمالی ناشی از فرایند اجرا، تاثیرات ناشی از دما، تغییر رطوبت یا نشست).
کنش‌ها زمانی باید به عنوان کنش متغیر طبقه‌بندی شوند که تغییرات آن‌ها متواتر و بزرگ باشد (مانند تمام کنش‌هایی که در اثر استفاده از سازه و یا توسط اکثر کنش‌های خارجی مثل باد و برف ایجاد می‌شوند).
کنش‌ها زمانی باید به عنوان کنش تصادفی طبقه‌بندی شوند که اندازه آن‌ها قابل توجه بوده و احتمال وقوع آن‌ها به نسبت عمر موردنظر استفاده کوچک باشد. در اکثر اوقات مدت آن‌ها کوتاه است (مانند بارهای تصادم، انفجار، زلزله و بهمن).

یادآوری ۱- در این استاندارد یک کنش تصادفی لزوما در اثر یک تصادف ایجاد نشده است.

یادآوری ۲- برای بعضی سازه‌ها یا در بعضی مناطق، تعدد وقوع تصادم یا زلزله می‌تواند آنچنان زیاد باشد که بهتر است آن‌ها را کنش متغیر تلقی نمود.

درجایی که تغییرات مکانی موردنظر است مفید است که تمایز بین کنش‌های ثابت و آزاد، روشن شود.
کنش‌های ثابت دارای توزیع شدت مکانی مشخص بر روی سازه هستند و با مشخص شدن شدت در نقطه مشخصی از سازه، مقدار آن در همه جا تعیین شده است (مانند فشار خاک یا آب) در کنش‌های آزاد، توزیع شدت مکانی متغیر است (مثلا بار معمول ساکنین).

۶-۲-۲-۳ مدل کنش

در جایی که ممکن باشد باید مدل کامل کنش‌ها لحاظ شود که به طور کلی شامل چندین جزء است که اندازه، موقعیت، جهت، مدت و... کنش را تعریف می‌نماید. بعضی اوقات اندرکنش بین اجزا نیز باید به حساب آورده شود. در موارد خاصی نیز ممکن است اندرکنش بین کنش و پاسخ سازه وجود داشته باشد.
در بسیاری از موارد، نوع متغیرها باید به صورت کامل از هم تمایز داده شود. برای مثال F_0 و ω کنشی به نام F را به صورت زیر تشریح می‌کنند:

$$F = \varphi(F_0, \omega) \qquad (۵)$$

که در آن:

F_0 متغیر مرجع کنش است که مستقیما مربوط به رویداد منشا کنش است و توصیه می شود در صورت امکان به طریقی تعریف شود که مستقل از سازه باشد (به عنوان مثال برای بار برف، بار برف بر روی زمین و بر روی یک سطح تخت است)؛

ω یک ضریب تبدیل یا متغیر مدلی است که در تبدیل از کنش پایه به کنش F دیده می‌شود که آن سازه خاص را تحت تاثیر قرارمی‌دهد؛ پارامتر ω می‌تواند وابسته به شکل و اندازه سازه و از این قبیل باشد. (برای مثال بار برف، ω ضریبی است که بار برف بر روی زمین را به بار برف بر روی بام تبدیل می‌کند که بستگی به شیب بام، نوع سطح بام و غیره دارد) و

$\varphi(\cdot,\cdot)$ یک تابع مناسب، و معمولا یک ضرب ساده است.

تغییرات زمانی کوتاه مدت و دراز مدت معمولا در F_0 لحاظ می‌شود و ω را به طور معمول می‌توان به عنوان مستقل از زمان درنظر گرفت. در اکثر موارد، بخش تغییرات سامانه‌ای مکانی یک کنش در ω لحاظ می‌شود

که بخش اتفاقی احتمالی آن می‌تواند در $F0$ یا ω منظور شود. رابطه (۴) را می‌توان یک رابطه اصلی در نظر گرفت. برای یک کنش می‌تواند چندین متغیر $F0$ و چندین متغیر ω وجود داشته باشد.

هر مدل شامل مجموعه‌ای از پارامترها است که باید قبل از اینکه مدل مورد استفاده قرارگیرد ارزیابی شود. در مدل احتمالاتی تمامی کنش‌ها در اصل متغیر اتفاقی، فرآیند اتفاقی یا میدان اتفاقی فرض می‌شوند، در حالیکه پارامترهای دیگر می‌توانند زمان و یا مختصات، جهت و دیگر خصوصیات مکانی باشند. برخی مواقع، پارامترها می‌توانند خود دارای تغییرات اتفاقی باشند، مثل زمانی که مدل به علت مقدار کم نمونه‌های مبنای تشکیل مدل احتمالاتی، اجازه انطباق عدم‌قطعیت آماری را می‌دهد.

یادآوری ۱- یک مدل کنش همان گونه که توسط رابطه (۴) تشریح شده است، اغلب شامل دو یا بیشتر متغیر با خصوصیات مختلف است. برای هر متغیر، یک مدل مناسب باید انتخاب شود به گونه ای که مدل جامع کنش متشکل از تعدادی مدل برای متغیرهای منفرد باشد.

یادآوری ۲- اغلب آسان تر است که آن مدل‌های کنشی را تعریف کرد که مقادیر نهایی در یک دوره زمانی را تشریح کند برای مثال، توزیع حداکثر بار باد سالانه یا حداکثر بار ترافیکی در عمر کاری طرح.

۶-۲-۳ مشخصات هندسی

هندسه یک سازه باید به شکل مناسب تشریح شود. به طور کلی، می‌توان از المان‌های استاندارد مانند اعضای تک بعدی (تیرها، ستون‌ها، کابل‌ها، قوس‌ها و غیره)، اعضای دوبعدی (دال‌ها، دیوارها، صفحات و غیره) و اعضای سه بعدی (مثل پوسته ها، نیم فضاهای لایه ای) بهره گرفت. کمیت‌های هندسی گنجانده شده در مدل، مانند مقادیر داده شده در نقشه ها، تعاریف و غیره، معمولا به مقادیر اسمی برمی‌گردند. معمولا کمیت‌های هندسی واقعی یک سازه با مقادیر اسمی آن‌ها تفاوت دارد، مثل وقتی که سازه نقص یا ایراد هندسی دارد. چنانچه رفتار کلی سازه‌ای یا ظرفیت اعضای آن به این گونه نواقص حساس است، باید آن‌ها را در مدل لحاظ نمود.

۶-۲-۴ خصوصیات مصالح

۶-۲-۴-۱ کلیات

مدل‌های مصالح شامل روابط بین نیرو و تنش از یک طرف و تغییر شکل ها از سوی دیگر (روابط ترکیبی) باید فرموله شوند. متغیرها در چنین روابطی ضریب ارتجاعی، حد جاری شدن، تاب نهایی و غیره هستند که معمولا بعنوان کمیت‌های دارای عدم‌قطعیت لحاظ می‌شوند. گاهی اوقات وابسته به زمان یا وابسته به مکان هستند. معمولا ارتباط متقابل بین پارامترها وجود دارد مانند ارتباط ضریب ارتجاعی و تاب نهایی بتن.

خصوصیات دیگر مصالح مانند مقاومت در مقابل فرسودگی مصالح، را اغلب می‌توان به همین روش انجام داد. هرچند که این اصول شدیدا وابسته به نوع مصالح و ویژگی مورد نظر است.

۶-۲-۴-۲ توصیف خصوصیات

ویژگی‌های مصالح باید براساس خصوصیات نمونه‌هایی تعریف شود که دارای اندازه و شرایط تعریف شده باشند، براساس روش‌های مشخص نمونه‌گیری شده باشند، تحت مراحل آزمون مصوب قرارگیرند و نتایج آن‌ها براساس فرایندهای مشخص تعیین شده باشد.

ویژگی اصلی رفتار مکانیکی، توسط نمودار تنش کرنش یک بعدی (تک محوری) تشریح می‌شود. به عنوان یک کمینه مطلق برای طرح سازه‌ای، خصوصیات زیر باید برای کشش و فشار درنظر گرفته شوند:

- ضریب ارتجاعی؛
- تاب مصالح؛

پارامترهای مهم دیگری در نمودار تنش کرنش یک بعدی مانند موارد زیر نیز ممکن است مرتبط باشند:

- تنش جاری شدن؛
- حد تناسب؛
- کرنش در گسیختگی و کرنش در تنش بیشینه و
- زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی.

تنش در گسیختگی پدیده‌ای موضعی است و مقدار به دست آمده می‌تواند شدیدا به شکل و ابعاد نمونه آزمون وابسته باشد. علاوه بر نمودار تنش کرنش یک بعدی، اطلاعات در خصوص تعدادی دیگر از کمیت‌ها و تاثیرات از جمله موارد زیر دارای اهمیت است:

- روابط تنش کرنش چند محوره؛
- مواد چند فازی (خاک محتوی هوا و آب)؛
- تاثیرات مدت و نرخ کرنش؛
- تاثیرات دما؛
- تاثیرات شکاف و بریدگی (تمرکز تنش)؛
- تاثیرات مواد شیمیایی و

وابستگی احتمالی بین خصوصیات یک مصالح نیز باید لحاظ شوند.

۶-۲-۴-۳ مدل مصالح

مصالح سازه‌ای باید توسط روابط و پارامترها (خصوصیات مصالح) مدل شوند تا روابط تنش-کرنش (عمومی شده) را با دقت تشریح نمایند؛ عدم‌قطعیت‌های متناظر مدل نیز باید درنظر گرفته شوند.

ویژگی‌های مصالح ممکن است در مکان و زمان تغییر کنند. اختلافات زیر بین خصوصیات اندازه‌گیری شده و واقعی ممکن است موجود بوده و باید لحاظ شوند:

- انحراف سامانه‌ای در آزمون آزمایشگاهی، که با مرتبط کردن خصوصیات سازه‌ای مشاهده شده با خصوصیات پیش‌بینی شده مشخص شده است و پیشنهاد اصلاحات در پیش‌بینی.
- انحراف اتفاقی بین خصوصیات سازه‌ای مشاهده شده و پیش‌بینی شده، که عموما ناشی از کمبود جامعیت در متغیرهای لحاظ شده در مدل است.
- عدم‌قطعیت در رابطه میان مصالح بکار رفته در نمونه سازه‌ای و نمونه متناظر مصالح.
- تاثیر کیفیت متفاوت مهارت بر خصوصیات نمونه (ساختنی) مصالح، مانند زمانی که مصالح به کاررفته در سازه براساس نمونه‌های موجود مصالح مدل می‌شود.
- تاثیر کیفیت متفاوت مهارت، زمانیکه مصالح به کار رفته در سازه به درستی در نمونه مصالح متناظر منعکس نشود.

- عدم‌قطعیت‌های مرتبط با تغییر در طول زمان، که تنها با آزمون آزمایشگاهی، مشاهدات میدانی و از این قبیل قابل پیش‌بینی است.
- عدم‌قطعیت‌های مرتبط با فرایندهای بازرسی در طول و یا پس از ساخت

۶-۲-۵ پاسخ و مقاومت

۶-۲-۵-۱ طبقه بندی

مدل‌های مکانیکی زیر باید در صورت مرتبط بودن استفاده شوند:
- مدل‌هایی که پاسخ ایستا را تشریح می‌کنند؛
- مدل‌هایی که پاسخ پویای وابسته به زمان را تشریح می‌کنند و
- مدل‌هایی که مکانیسم‌های استهلاک وابسته به زمان را تشریح می‌کنند.

اندرکنش سازه با محیط پیرامونی (خصوصا هوا، آب و خاک) باید در صورت ارتباط به حساب آید.

۶-۲-۵-۲ مدل‌های پاسخ ایستا

در تحلیل، باید برای ارتباط بین تنش‌ها، نیروها یا ممان‌ها و تغییرشکل(یا نرخ تغییرشکل) های متناظر مدل‌های مناسب انتخاب شود. این مدل‌ها می‌توانند بسته به هدف و نوع محاسبات تغییر کنند. ملاحظات زیر باید مدنظر قرارگیرد:

- در بسیاری از موارد، مدل رفتار الاستوپلاستیک، با مناطق پلاستیک در حال گسترش در مناطق با بیشترین تنش، می‌تواند کافی تلقی شود.

- مدل‌های پیشرفته می‌تواند شامل رفتار نرم شونده براساس استهلاک عمومی مصالح و همچنین شکل‌گیری ترک های متوسط یا شدید و همینطور پدیده هایی مانند خزش، وانهادگی، تحکیم و غیره باشند.

- تئوری الاستیسیته می‌تواند به عنوان ساده سازی شده یک تئوری عمومی تر لحاظ شود و معمولا در صورتی که نیروها و خمش ها در آن حدود مشخص قرارگیرند که بمعنی رفتار ارتجاعی سازه است، می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد. تئوری الاستیسیته همچنین می‌تواند در صورتی که به عنوان یک تخمین محافظه کارانه به کاربرده شود نیز مورد استفاده قرارگیرد.

- از تئوری هایی که در آن‌ها فرض می‌شود حالت خمیری کامل در مناطقی از سازه(مفصل پلاستیک در تیرها یا خط گسیختگی در دال‌ها و از این قبیل) حادث شود نیز می‌توان استفاده نمود، مشروط بر آنکه تغییر شکل‌هایی که مستلزم رفتار پلاستیک است قبل از رسیدن به حالت حدی نهایی حادث شود. بنابراین، تئوری پلاستیسیته برای تعیین ظرفیت باربری سازه در زمانی که این ظرفیت با زوال ترد، ناپایداری و تکرار کنش‌های آزاد متغیر(مکانیزم فرو ریختگی) محدود می‌شود باید با احتیاط مورد استفاده قرارگیرد.

- در بسیاری از موارد، تغییرشکل یک سازه موجب انحرافات قابل توجهی از مقادیر اسمی کمیت‌های هندسی می‌شود. درصورتی که این تغییر شکل‌ها از اهمیت زیادی در رفتار سازه برخوردار باشند، لازم است در طرح لحاظ شوند. تاثیرات چنین تغییر شکل‌هایی معمولا به عنوان تاثیرات غیرخطی هندسی یا ثانویه شناخته می‌شوند. در این نوع از تحلیل همچنین نواقص اولیه نیز باید لحاظ شوند.

۶-۲-۵-۳ مدل پاسخ پویا

پاسخ پویای یک سازه توسط تغییرات نسبتا سریع اندازه، موقعیت یا جهت یک کنش ایجاد می‌شود. تغییر ناگهانی سختی یا مقاومت یک المان سازه‌ای هم می‌تواند موجب رفتار پویا شود.

مدل پاسخ پویا عموما شامل موارد زیر است:

- مدل سختی، شامل رفتار خطی و غیرخطی فیزیکی و هندسی؛
- مدل میرایی، شامل میرایی مصالح، میرایی هندسی، میرایی مصنوعی و فعال و
- مدل جرم، شامل جرم سازه‌ای، جرم محتویات و جرم احتمالی محیط پیرامونی.

در مدل‌سازی رفتار پویا، اندرکنش با هوا، آب، خاک و سازه‌های مجاور احتمالی باید لحاظ شود.

با توجه به کوتاه مدت بودن(اوج) بارهای پویا، سازه‌ها قادر هستند در مقابل بارهای پویا بالاتر از ظرفیت باربری ایستای خود دوام بیاورند. در چنین شرایطی، باید به محدودیت‌های تغییر شکل توجه ویژه صورت پذیرد. در تحلیل لرزه‌ای، این بخشی است که رویکرد طرح ظرفیت نامیده می‌شود.

یادآوری- در عمل، اغلب محاسبات پویا با محاسبات شبه ایستا جایگزین می‌شود که در آن‌ها تاثیر پویایی با اعمال ضرایب تشدیدکننده پویا در بار ایستا لحاظ می‌شود.

۶-۲-۵-۴ مدل برای استهلاک و تجمیع خسارات

در موارد مرتبط، تاثیر خسارات بر سختی و تاب اعضای سازه‌ای باید لحاظ شود.

استهلاک مصالح و خصوصیات سازه‌ای می‌تواند ناشی از انرژی مربوط به علل زیر باشد:

- اثرات مکانیکی (کنش‌های بی ثبات، بارگذاری درازمدت، نشست، سائیدگی، پوسیدگی)؛
- اثرات فیزیکی (دما، رطوبت، نور فرابنفش)؛
- فرایندهای شیمیایی (آتش، خوردگی، واکنش قلیایی سیلیکا)؛
- فرایندهای بیولوژیکی (خوردگی، پوسیدن چوب).

در صورت زوال خستگی در اثر کنش‌ها نوسانی، دو نوع مدل قابل تمایز وجود دارد:

- مدل S-N براساس آزمایشات و
- مدل مکانیک گسیختگی.

باید به "اتصال ضعیف" احتمالی در جایی که تمرکز کرنش می‌تواند رخ دهد توجه ویژه شود.

یادآوری- به استاندارد ISO 13823 مراجعه شود.

۶-۳ مدل پیامدها

در یک رویکرد برمبنای خطرپذیری، باید مدل‌های پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم به گونه‌ای تنظیم شوند که خطرپذیری را ارزیابی نموده و بهینه‌سازی اقدامات ایمنی را ممکن ساخته و با قیود احتمالی بسنجند.

حداقلی پیامدهایی که باید توسط مدل تعیین شود عبارتند از:

- رفتار سازه قبل و بعد از زوال؛
- مقدار خسارات اولیه و ثانویه سازه‌ای؛
- فاکتورهای احتمالی کاهش دهنده مانند سامانه‌های هشداردهنده؛
- اقدامات خود- نجات انسانی؛

- اقدامات تخصصی نجات و کاهش خسارات مانند آتش‌نشانی؛
- فعالیت‌های تعمیر و بازسازی؛
- از دست رفتن کارکرد سازه‌ای و
- خسارات زیست محیطی.

هنگام به کارگیری تکنیک‌های تحلیل پیامدها، مانند تحلیل سناریو ، تحلیل درختی(شاخه‌ای) خطا و وقایع، پیشنهاد می‌شود. عدم‌قطعیت‌ها در سناریوهای محتمل باید درنظر گرفته شوند.

پیامدها باید به صورت عددی به نسبت میزان تلفات و زخمی شدن انسان‌ها و یا خسارات زیست محیطی و اقتصادی بیان شوند. در بعضی موارد، فقط طبقه‌بندی پیامدها ممکن است کافی باشد.

مدل‌های تخمین تلفات انسانی معمولا از دوبخش تشکیل می‌شوند: (۱) کمی سازی تعداد افراد در معرض خطر و (۲) احتمال واقعی کشته یا زخمی شدن افراد در معرض خطر.

۶-۴ عدم‌قطعیت مدل

یک مدل برای تحلیل سازه‌ای یک رابطه فیزیکی یا تجربی بین متغیرهای مرتبط است که عموما متغیرهای اتفاقی هستند:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \qquad (۶)$$

که در آن :

Y خروجی مدل،

f تابع مدل و

$X_1, X_2, \dots, X_n$ متغیرهای پایه هستند.

مدل $f(0)$ در صورتی کامل و دقیق است که اگر خروجی های Xi در یک نقطه مشخص باشد(مثلا از اندازه‌گیری)، خروجی Y را بتوان به دقت پیش‌بینی کرد. اما در عمل معمولا چنین نیست و مدل‌ها معمولا غیر جامع و بی‌دقت هستند. که می‌تواند ناشی از کمبود اطلاعات و یا ساده‌سازی جهت تسهیل کار طراح باشد. برای مشارکت دادن این جنبه ها، رابطه (۶) باید به صورت زیر تغییر کند:

$$Y = f'(X_1, X_2, \dots, X_n, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m) \qquad (۷)$$

در اینجا f' مدل تکمیلی تابع توسط متغیرهای $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)^T = 0$ برای لحاظ کردن عدم‌قطعیت‌های مدل است. متغیرهای θ نماینده عدم‌قطعیت‌های مدل هستند و به عنوان متغیرهای اتفاقی تلقی می‌شوند. خصوصیات آماری آن‌ها باید تا جایی که ممکن باشد از آزمایشات، مشاهدات از محاسبات مدل‌های دقیق‌تر استخراج شود. میانگین این پارامترها باید به صورتی تعریف شود که به طور متوسط مدل تحلیل، نتایج آزمایشات را به دقت پیش‌بینی کند.

۶-۵ مدل‌های تجربی

در مواردی که مدل‌های محاسباتی مناسب در دسترس نباشد یا مدل‌های موجود بیش از حد محافظه‌کارانه تلقی شوند، بخشی از پروسه طرح می‌تواند براساس مدل‌های تجربی انجام شود. برنامه‌ریزی و ارزیابی

آزمایشات باید به طریقی انجام شود که سازه، برطبق طرح، در همه حالات حدی مربوط و شرایط باری حداقل قابلیت‌اعتماد مشابهی با سازه‌ای که براساس مدل‌های محاسباتی طرح شده است، داشته باشد. شرایطی که در طول آزمون قابل تامین نباشد (مانند رفتار درازمدت) باید جداگانه به حساب آورده شوند.
از مدل‌های تجربی می‌توان برای ارزیابی یا کنترل فرضیات زیر استفاده کرد:

- بارهای روی سازه (برای مثال تونل های آزمون باد)؛
- پاسخ سازه‌ای تحت بار یا وقایع تصادفی و
- تاب یا سختی یک سازه یا عضو سازه‌ای.

یادآوری ۱- کنترل استاندارد ویژگی‌های مصالح یا دیگر آزمون‌های کنترلی به عنوان طرح بر مبنای مدل‌های تجربی لحاظ نمی‌شوند. این آزمایشات برای کنترل صحت فرضیاتی است که از قبل در طرح صورت پذیرفته است.

قبل از آزمایش، توصیه می شود تا آنجا که ممکن است مدلی محاسباتی تهیه شود تا محدوده متغیرهای مربوط را پوشش داده و به روشنی ضرائب یا کمیت‌های نامعلوم را که باید توسط آزمایش ارزیابی شوند را نشان دهد. چنانچه این کار ممکن نباشد بهتر است مجموعه‌ای از آزمایشات مقدماتی انجام شود.
متغیرهای پایه مرتبط مانند کنش، خصوصیت مصالح و خصوصیات هندسی، حتی زمانی که در مدل محاسباتی به روشنی نمود نداشته باشند باید مرجحا بصورا مستقیم و یا غیرمستقیم برای هر آزمون اندازه‌گیری شوند. نمونه‌های این متغیرهای پایه لزوما نیازی نیست معرف باشند. برای مثال شخص می‌تواند روشی را انتخاب کند تا مقادیر نزدیک به مقادیر تخمینی طرح را بدست آورد. چنانچه مقادیر متغیرهای اتفاقی در آزمون اندازه‌گیری نمی‌شوند، بهتر است مطمئن شد که آن‌ها از نمونه معرف اخذ شده باشند.
نتایج آزمایشات بهتر است به صورت آماری ارزیابی شوند. در اصل، نمونه‌ها باید به یک توزیع احتمالاتی برای کمیت‌های نامعلوم، از جمله عدم‌قطعیت‌های آماری منجرشوند.
براساس این توزیع، شخص قادر خواهدبود مقادیر طرح و نیروهای جزئی را برای استفاده در چارچوب ضرائب جزئی بدست آورد.

یادآوری ۲- برای جزئیات بیشتر به پیوست پ مراجعه شود.

زمانی که نتایج ارزیابی آزمایشات با تجربیات همخوانی ندارد لازم است دلایل تفصیلی این انحراف را جستجو و ثبت نمود.

۶-۶ به روز رسانی مدل‌های احتمالاتی

در صورت بالا بودن عدم‌قطعیت در کنش‌ها، خصوصیات سازه‌ای و یا مدل، باید امکان به روز رسانی مراحل در نظر گرفته شود تا نیل به یک طرح اقتصادی تر یا ارزیابی، ممکن شود.
به روز رسانی می‌تواند براساس فرایندهای تضمین کیفیت در طول و پس از اجرا و همچنین برنامه بازرسی و نظارت مادام‌العمر باشد. براساس مشاهدات، که توزیع متاخر نامیده می‌شوند را می‌توان برای متغیرهای اتفاقی بدست آورد. بعضی اوقات موثرتر است که مستقیما احتمال زوال متاخر را محاسبه نمود. عدم‌قطعیت های فرایندهای بازرسی همواره باید مدنظر قرارگیرند.
بازرسی ها را می‌توان بعد از حوادثی چون زلزله یا آتش سوزی نیز برنامه‌ریزی نمود.

کارایی اقتصادی بازرسی‌ها را می‌توان با تصمیم‌گیری براساس تحلیلی که قبل از متاخر نامیده می‌شود به دست‌آورد.

یادآوری- به پیوست‌های الف و ب مراجعه شود.

۷ تصمیم‌گیری خطرپذیری آگاهانه

۷-۱ کلیات

تصمیمات در رابطه با طرح، اجرا، استفاده/راه اندازی، ارزیابی، تعمیر، تقویت، نگهداری، نوسازی و تخریب سازه باید برمبنای ارزیابی خطر انجام شود تا از بهینه شدن منافع و به طور همزمان از مدیریت خطر جانی و کیفیت محیط‌زیست نیز بر طبق اولویت‌های جامعه، بصورتی که در زیربند ۴-۲-۲ تشریح شده، اطمینان حاصل شود.

ارزیابی خطر باید مطابق با استاندارد ISO 13824 و همان گونه که در بند های بعد آمده است انجام شود.

یادآوری - تصمیم‌گیری خطرپذیری آگاهانه در مقایسه با تصمیم‌گیری بر مبنای قابلیت‌اعتماد، مستقیما و بوضوح شامل کلیه پیامدهای مترتب بر تصمیمات از قبیل پیامدهای ناشی از زوال سازه‌ها است و همچنین منافع ناشی از به کارگیری سازه است. بنابراین تصمیم‌گیری خطرپذیری آگاهانه با اطلاعات موجود سازگارتر بوده و دربردارنده مبنای غنی‌تری برای بهینه‌سازی تصمیمات مربوط به سازه در طول دوره عمر آن‌ها است.

۷-۲ تعیین سامانه

به عنوان اولین کار در تصمیم‌گیری خطرپذیری‌آگاهانه در خصوص سازه‌ها، سامانه باید مشخص باشد. خصوصا:

- محدوده های مکانی و زمانی سامانه باید قطعی شده و مستندسازی شود؛
- وقایع محتمل رویارویی، اجزای اصلی و پیامدهای مستقیم و غیر مستقیم آن باید به طریقی که در زیربند ۴-۳-۲ شرح داده شده است مشخص گردد و
- اقدامات مختلف برای کاهش خطرپذیری باید و با ذکر هزینه، تاثیر آن‌ها بر وقایع رویارویی و پیامدهای مستقیم و غیر مستقیم آن‌ها مشخص شوند. علاوه بر این، باید به تعیین اقدامات کاهش خطرپذیری مرتبط با اجزاءاصلی، به صورت قبل از آسیب احتمالی، در طول ایجاد آسیب و بعد از ایجاد خسارت، توجه شود.

یادآوری ۱- توصیه می‌شود که تعریف سامانه در یک کار مشترک، در چارچوب گزینش خطر با همراهی مالک سازه و همچنین تعدادی از خبرگانی که دانش مربوط به سازه در زمینه مورد بحث را دارند صورت پذیرد. از آنجا که تعداد سناریوهای مختلف ممکن است بسیار زیاد باشد، مشخص کردن سناریوهای کم ارتباط یا بی ارتباط که باید از ارزیابی تفصیلی خطرپذیری نهایی حذف شوند، بسیار حائز اهمیت است.

یادآوری ۲- اقدامات کاهش خطرپذیری می‌تواند پیشگیرانه باشد (مانند افزایش ابعاد سطح مقطع، به کارگیری خاموت سازه‌ای، افزایش ضخامت پوشش آرماتور) و یا ماهیتی فعال داشته باشد(مانند نظارت‌های سازه‌ای، استراتژی بازرسی و نگهداری و سامانه‌های اعلام دود و حریق). علاوه بر این، اقدامات کاهش خطرپذیری از قبیل کنترل کیفیت، مطالعات میدانی خاک، آزمون مصالح، مشاهده شرایط محیطی و غیره نیز که سامانه را تغییر نداده بلکه دانش ما در رابطه با عملکرد سامانه را افزایش می‌دهند را می‌توان تعیین نمود. افزایش دانش، بهینه‌سازی اقدامات کاهش خطرپذیری شامل تغییرات فیزیکی سامانه را تسهیل می‌کند.

۳-۷ مدل‌سازی سامانه

مدل‌سازی سامانه باید همان گونه که در زیربند ۴-۳-۳ مشخص شده است، عدم‌قطعیت‌های مرتبط با سامانه را تشریح کرده و مرتفع سازد. این کار شامل معرفی احتمالاتی بیزی وقایع رویارویی، تمامی حالات آسیب و زوال اجزا اصلی سامانه، پیامدهای مستقیم و غیر مستقیم و همچنین تاثیر اقدامات کاهش خطرپذیری می‌شود. عملکرد اجزاء اصلی نیز باید بر اساس اصول مشخص شده در بند ۵ مدل شود.

یادآوری - وابستگی میان وقایع درمعرض قرارگیری و همچنین عملکرد اجزاء اصلی می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر خطرپذیری داشته باشد و بنابراین بهتر است به دقت در مدل‌سازی مورد توجه قرارگیرد.

در مدل‌سازی منافع ناشی از اقدامات مختلف کاهش خطرپذیری، باید پیش‌بینی برای همه پیامدها و همچنین هزینه‌هایی که در آینده ممکن است تحمیل شود، اعمال شود.

۴-۷ کمی سازی خطرپذیری

خطرپذیری مرتبط با اقدامات مشخص کاهش خطرپذیری، باید به صورت مقدار مورد انتظار مجموع پیامدهای مستقیم و غیر مستقیم، در جائی که عملیات تعیین انتظارات برای کلیه عدم‌قطعیت‌های تاثیرگذار برعملکرد سامانه درنظر گرفته شده است، ارزیابی شود. دیگر شاخص‌های خطرپذیری مانند حداکثر ضرر محتمل، ارزش در خطرپذیری و مانند آن نیز در صورت ارتباط با موضوع می‌توانند ارزیابی شوند.

برای هر اقدام لحاظ شده کاهش خطرپذیری a، خطرپذیری متناظر $R(a)$، شامل یک تعدادی جزء اصلی n_E است که از پیامدهای وقایعی محتمل ناشی از هر تصمیم به دست می‌آید:

$$R(a) = \sum_{i=1}^{n_E} P_i C_i \qquad (۸)$$

که در آن:

P_i و C_i به ترتیب احتمال و پیامدهای مرتبط با رویداد i هستند. عموما تعداد وقایع محتمل، احتمال آن‌ها و همچنین پیامدهای مربوط به آن‌ها وابسته به تصمیم a هستند.

با پیامدها احتمال‌های Pi در رابطه (۸) باید براساس اصول ارائه شده در بند ۸ ارزیابی شوند. زمانی که وقایع مرتبط به صورت احتمالاتی ارائه می‌شود، اصول مدل‌سازی عدم‌قطعیت و مفهوم حالات حدی تشریح شده در بند های ۵ و ۶ باید اعمال شوند.

یادآوری: براساس ارزیابی خطرپذیری‌های مستقیم و غیر مستقیم، به منظور پشتیبانی از تصمیمات طراحی می‌توان ارزیابی سختی سازه را نیز انجام داد (به زیربند ۴-۳-۲ و پیوست چ مراجعه شود).

۵-۷ بهینه‌سازی تصمیمات و قبول خطرپذیری

بهینه‌سازی تصمیمات کاهش خطرپذیری باید بر مبنای رده‌بندی منافع مرتبط با آن‌ها انجام شود. اصول کلی بهینه‌سازی تصمیمات بر اساس اطلاعات در مورد خطرپذیری‌ها در زیربند ۴-۴-۲-۱ ارائه شده است.

ارزیابی مقبولیت تصمیمات با توجه ضمنی به ایمنی جانی باید براساس اصول تشریح شده در زیربند ۴-۲-۲ انجام شود(به پیوست چ نیز برای اطلاعات بیشتر مراجعه شود).

یادآوری - تصمیم‌گیری خطرپذیری‌آگاهانه می‌تواند به عنوان مبنایی برای تصمیمات مرتبط با سازه‌ها در طول چرخه عمر آن‌ها اعمال شود، هرچند می‌توان آن را به منظور تعیین حداکثر احتمال زوال اسمی قابل قبول سازه‌ها و به تبع آن

پشتیبانی رویکردهای بر مبنای قابلیت‌اعتماد و همچنین فرموله کردن و تعدیل چارچوب‌های نیمه احتمالاتی ایمنی نیز اعمال نمود.

۸ تصمیم‌گیری براساس قابلیت اعتماد

۸-۱ کلیات

اصول کلی تصمیم‌گیری براساس قابلیت‌اعتماد در زیربند ۴-۴-۲-۲ تشریح شده است. تصمیمات در رابطه با طرح، تعمیر، مقاوم سازی، نگهداری، بهره برداری و تخریب سازه‌ها باید الزامات مشخص شده در قابلیت‌اعتماد، یا هم ارز آن، الزامات احتمال زوال را برآورده سازند.

فرض بر این است که مدل‌های عدم‌قطعیت در بند ۶ می‌تواند معرف متغیرها، میدان‌ها/فرایندهای تصادفی باشند و رویکرد حالت حدی در بند ۵ می‌تواند برای مدل‌کردن وقایع مربوطه مثل رویداد زوال استفاده شود. علاوه بر این فرض می‌شود که قابلیت‌اعتماد را می‌توان با روش‌های قابلیت‌اعتماد وابسته به زمان یا مستقل از زمان مانند FORM/SORM و تکنیک‌های شبیه سازی مونت کارلو ارزیابی کرد.

در طول چرخه عمر یک سازه، لازم است انواع مختلفی از تصمیم بر اساس میزان متغیر اطلاعات اخذ شود. این تصمیمات می‌تواند مربوط به موارد زیر باشد:

- طراحی بر اساس حالات حدی نهایی و قابلیت بهره‌برداری؛
- برنامه آزمایشات و کنترل کیفی که باید در طول فرایند طرح و اجرای سازه انجام شود. این شامل مطالعات مکانیک خاک، آزمایش مصالح، آزمون کوپون، آزمایشات اجزاء فرعی، آزمایشات در مقیاس کامل، آزمایشات بارگذاری، آزمون‌های عددی و فرایندهای کنترل کیفیت می‌شود؛
- برنامه ریزی بازرسی و نظارت در طول کارکرد بعنوان ملاک تعمیر و نگهداری آتی و
- تصمیمات در خصوص افزایش عمر و برچیدن یا تعویض سازه در پایان عمر طرح.

از یک تصمیم بر مبنای قابلیت‌اعتماد چنین استنباط می‌شود که احتمال زوال، از یک مقدار مشخص هدف، تجاوز نخواهد کرد(به زیربند ۸-۴ مراجعه شود):

$$p_f \leq p_{ft} \qquad (۹)$$

الزامات قابلیت‌اعتماد باید برای تمام موقعیت‌های طرح وابسته به تصمیم فوق الذکر راستی‌آزمایی شود. موقعیت‌های طرح باید چنان متنوع و شدید باشند که تمام موقعیت‌هایی که پیش‌بینی می‌شود در طول اجرا و استفاده از سازه به وقوع بپیوندد را دربر بگیرند.

این معمولا به شرایط بارگذاری در استفاده معمول، بارهای شدید محیطی، بارهای استثنایی و تصادفی در طول فازهای مختلف در طول عمر سازه برمی‌گردد.

براساس بند ۵، زوال وابسته به یک حالت حدی است، درمورد یک مساله قابلیت‌اعتماد مستقل از زمان، حالت نامطلوب توسط رابطه حالت حدی تعریف می‌شود:

$$\mathbf{g(x)} \leq 0 \qquad (۱۰)$$

که در آن:

x یک بردار شامل تعریف متغیر پایه مرتبط با مشکل است. به طورکلی، متغیرهای پایه‌ای که کنش‌های متغیر و تاثیرات محیطی را تشریح می‌کنند باید با استفاده از روش‌های استوکستیک یا میدان‌های اتفاقی

تشریح شوند. هر چند در بسیاری از موارد، تشریح یک متغیر اتفاقی توسط یک تابع توزیع احتمالاتی برای حداکثر آن در یک دوره و یا محدوه معلوم ممکن است کافی باشد. دیگر متغیرهای پایه (مثل ویژگی‌های مصالح یا خصوصیات هندسی) نیز می‌توانند وابسته به مکان و زمان باشند.
با پارامترهای عدم‌قطعیت مدل که متغیرهای اتفاقی هستند در اصول همانند متغیرهای پایه رفتار می‌شود.
برای اکثر حالات حدی نهایی و تعدادی از حالات حدی قابلیت بهره‌برداری، احتمال زوال را می‌توان چنین نوشت:

$$p_f = P[g(X) \leq 0] \qquad (۱۱)$$

در مورد متغیرهای وابسته به زمان، مسئله با زمان تغییر می‌کند و در اصل باید رویکرد اولین گردش یا رویکرد ترکیبی برای ارزیابی احتمال زوال استفاده شود. البته در بعضی موارد یک مساله وابسته به زمان می‌تواند به راحتی به یک مساله مستقل از زمان بدل شود (ISO 13822).
برای برخی از حالات حدی نهایی و برای بسیاری از حالات حدی سرویس دهی، اولین گردش یک حالت حدی به معنای زوال نیست. در چنین مواردی، زوال تنها زمانی حادث می‌شود که شرایط دیگری نیز مهیا باشد و ملاک زوال باید مورد به مورد فرموله شود.
p_f به دلیل وابستگی به زمان، باید به دوره ای مشخص از زمان (دوره مرجع) که از قبل تعیین شده است ارجاع شود. در صورتی که پیامدهای اقتصادی تعیین کننده هستند می‌توان از احتمالات مادامالعمر استفاده کرد. چنانچه از یک زوال انتظار ایجاد خطر برای مردم وجود داشته باشد، دوره های مرجع دیگر نیز ممکن است استفاده شود معمولا یک سال.
احتمال زوال از طریق رابطه زیر به شاخص قابلیت‌اعتماد ارتباط پیدا می‌کند:

$$\beta = -\Phi^{-1}(p_f) \qquad (۱۲)$$

که در آن:
Φ^{-1} تابع معکوس توزیع نرمال احتمال است.
برای واسنجی چارچوب ضرائب جزئی که رئوس آن در بند ۹ آمده می‌توان روش‌های قابلیت‌اعتماد را اعمال نمود. در بعضی موارد، یک روش بر مبنای احتمال را می‌توان در طرح مستقیم و تصمیم‌گیری اعمال نمود.
قابلیت‌اعتماد به دست آمده در رابطه (۱۱) مقیاس احتمالاتی روشنی از قابلیت‌اعتماد به دست می‌دهد (مثل احتمال زوال). این مقدار می‌تواند برای مقایسه همخوان بین موقعیت‌های مختلف طرح به منظور تصمیم‌گیری و واسنجی به نسبت درجه قابلیت‌اعتماد مشخص و مورد نظر استفاده شود.

یادآوری – به طور کلی سامانه مدیریت کیفیت برای امور اجرای ساختمان باید برمبنای خطرپذیری بوده و طبق یک رویکرد جامع و دربرگیرنده خطاهای انسانی، خطای طرح و خطاهای اجرایی باشد (به پیوست الف مراجعه شود).

درجه قابلیت‌اعتماد را می‌توان بر اساس پیامدهای زوال به صورتی که در زیربند ۴-۳ مشخص شده است تمایز داد.

۸-۲ تصمیم بر اساس اقدامات احتمالی به روز شده

چنانچه نتایجی از آزمایشات، کنترل کیفی، بازرسی، کنترل شرایط، کنترل سلامت سازه‌ای و مانند آن در دست است، احتمال زوال به دست آمده از رابطه (۱۱) باید با استفاده از روش‌های آماری بیزی به روز شود. پیوست‌های ب و پ را برای ارزیابی ساختمان‌های موجود ببینید.

احتمال زوال به روز شده باید برای تصمیم‌گیری در خصوص تعمیر، نگهداری و ارتقا احتمالی به عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی بازرسی‌های آینده به منظور اطمینان از برآورده شدن الزامات قابلیت‌اعتماد در رابطه (۹) در طول چرخه کامل عمر سازه استفاده شود.

۸-۳ قابلیت‌اعتماد سامانه در مقابل قابلیت‌اعتماد اجزاء

عملکرد سامانه‌های سازه‌ای و همچنین سامانه‌های دارای سازه را همانگونه که در زیربند ۴-۳-۲ شرح داده شده است، می‌توان در چارچوب سناریوهای وقوع زوال اجزاء اصلی، بیان کرد. این سناریو ها می‌توانند توالی زوال‌های مدهای منفرد یک سامانه سازه‌ای را نیز تشریح نمایند مثلا از اولین آسیب تا فروریزی کامل.

به صورت عرف، تصمیم‌گیری برای طرح و ارزیابی مبتنی بر قابلیت‌اعتماد در ابتدا به اجزا و حالات حدی منفرد اعمال می‌شود (زوال نهایی و قابلیت بهره‌برداری). رفتار سامانه از آن جهت اهمیت دارد که معمولا زوال سامانه مهمترین پیامد مرتبط با زوال یک سازه است. بنابراین ارزیابی احتمال زوال سامانه به دنبال زوال یکی از اجزا اهمیت می‌یابد. خصوصا، لازم است خصوصیات سامانه در رابطه با رواداری آسیب یا یکپارچگی سازه‌ای نسبت به وقایع تصادفی تعیین شود. الزامات قابلیت‌اعتماد اجزا بهتر است وابسته به خصوصیات سامانه باشد. به الزامات سختی در پیوست ج نیز مراجعه شود.

بنابراین باید یک ارزیابی قابلیت‌اعتماد انجام داد تا احتمال سناریو هایی که ممکن است باعث زوال سامانه بشوند، ایجاد شود که شامل شناخت و لحاظ موارد زیر است:

- توالی مدهای زوال اجزا اصلی که نهایتا به مدهای زوال سامانه منجر می‌شوند؛
- توانایی سازه برای بازتوزیع نیروهای داخلی در یک حالت زوال معین؛
- توانایی احتمالی تضمین تسهیل بازتوزیع مطمئن نیروهای داخلی (متصل‌سازی)؛
- توانایی احتمالی تضمین پرهیز از بازتوزیع نامطمئن نیروهای داخلی (جدا سازی) و
- وابستگی های میان مدهای زوال بخشهای منفرد و مدهای زوال سامانه.

یادآوری – تحلیل قابلیت‌اعتماد سامانه بهتر است با تشخیص کامل عدم‌قطعیت‌های ماهوی در روش‌های موجود انجام شود و در نتیجه بهتر است با احتیاط مورد استفاده قرارگیرد.

۸-۴ احتمالات زوال هدف

احتمالات زوال هدف یعنی p_{ft}، بهتر است با لحاظ نمودن پیامدها و ماهیت زوال، خسارات اقتصادی، آسیب های اجتماعی، اثرات زیست محیطی، استفاده پایدار از منابع طبیعی و میزان هزینه لازم برای کاهش احتمال زوال انتخاب شود. در صورتی که خطر مرگ افراد در صورت زوال وجود نداشته باشد، احتمالات هدف زوال را می‌توان فقط بر اساس بهینه‌سازی اقتصادی انجام داد. اما چنانچه زوال سامانه خطر جانی برای انسان ها را به دنبال دارد، اصول هزینه‌های مرزی نجات جان اعمال شده و توصیه می‌شود، و می‌تواند از طریق LQI به صورتی که در پیوست چ نشان داده شده است، استفاده شود. در تمام موارد، احتمالات زوال قابل قبول بهتر است با استفاده از موارد مناسب از تجربیات گذشته که قابلیت‌اعتماد کافی داشته اند، واسنجی شوند.

یادآوری - برای قابلیت‌اعتماد تجربی مرتبط با دوره مرجع یکساله و حالات حدی نهایی به پیوست چ مراجعه شود.

زمانی که با خصوصیات سازه‌ای وابسته به زمان سروکار دارید، تاثیر فرایندهای کنترل کیفی، بازرسی و تعمیرات بر احتمال زوال باید محسوب شوند. این‌کار می‌تواند منجر به تنظیم به مقادیر مشخصی، مشروط به نتایج بازرسی‌ها بشود. احتمالات زوال مشخص، بهتر است همواره در رابطه با محاسبات تائید شده و مدل‌های احتمالاتی و روش ارزیابی درجه قابلیت اعتماد، درنظر گرفته شوند.

برای حالات حدی قابلیت بهره‌برداری، احتمالات زوال هدف باید هماهنگ با قصد محدود کردن نقصان در عملکرد و یا وقوع آسیب اقتصادی به ترازهای قابل قبول، باشند.

برای حالات حدی برگشت‌پذیر، می‌تواند برای تعداد گذر از حالت حدی نیز الزامات وجود داشته باشد(به بند ۵ مراجعه شود).

۸-۵ محاسبه احتمال زوال

۸-۵-۱ کلیات

اساسا، محاسبه احتمال زوال باید بر اساس همه دانش موجود انجام شود و ارائه عدم‌قطعیت باید شامل تمام وابستگی‌های مدلل و تصادفی و همچنین تغییرپذیری زمانی و مکانی باشد. انتخاب روش مناسب برای محاسبه احتمال زوال وابسته به خصوصیات مساله موجود و خصوصا وابستگی آن به زمان و همچنین مرتبط بودن آن به زوال اجزا یا سامانه است.

۸-۵-۲ مسائل قابلیت‌اعتماد مستقل از زمان

به طور کلی در شرایطی که مسئله وابسته به زمان(یا خصوصیات مکانی) نباشد یا بتوان به طریقی مثل استفاده از لحاظ حدنهایی، آن را چنین کرد، سه روش به نام های زیر می‌تواند برای محاسبه احتمال زوال p_f استفاده شوند:

الف- روش‌های قابلیت‌اعتماد درجه اول/دوم (FORM/SORM)

ب- تکنیک های شبیه‌سازی مانند شبیه‌سازی مونت‌کارلو، نمونه‌گیری اهمیت، نمونه‌گیری تقریبی، شبیه سازی زیرمجموعه و نمونه‌گیری انطباقی.

پ- انتگرال‌گیری عددی

۸-۵-۳ تبدیل مسائل وابسته به زمان به مستقل از زمان

دو رده مسائل وابسته به زمان درنظر گرفته می‌شوند، آن‌هایی که وابسته به موارد زیر هستند:

- زوال‌های ناشی از مقادیر نهایی و
- زوال‌های ناشی از انباشته شدن و افزایش تاثیرات در طی زمان.

در مورد زوال‌های ناشی از مقادیر نهایی، می‌توان یک فرایند تک‌کنشی با ثبات را با یک متغیر اتفاقی که معرف خصوصیات نهایی (بیشینه یا کمینه) آن فرایند اتفاقی در یک دوره مرجع مشخص باشد مثلا یک سال، تعویض نمود. چنانچه بیش از یک فرایند اتفاقی موجود است بهتر است آن‌ها را با لحاظ کردن وابستگی بین آن‌ها ترکیب نمود.

در مورد زوال‌های ناشی از انباشته شدن و افزایش تاثیرات فرسودگی در طی زمان (خستکی، خوردگی و ...)، تاریخچه کاملی از بار تا نقطه زوال ممکن است حائز اهمیت باشد. در چنین مواردی، وابستگی به زمان را

می‌توان با تقسیم دوره زمانی مرجع به فواصل کوچکتر و مدل‌سازی و محاسبه احتمال زوال آن را بصورت احتمال سلسله منطقی زوال‌های سامانه در فواصل زمانی منفرد انجام داد.

یادآوری - در استاندارد ISO 13833 مثال‌هایی آورده شده است.

۸-۵-۴ رویکرد ترکیبی

براساس رابطه (۱۳)، بیان عمومی و دقیق احتمال زوال یک فرایند متغیر در زمان بر روی فاصله $(0,t)$ را می‌توان با انتگرال گیری از نرخ زوال شرطی $h(\tau)$ به دست آورد:

$$p_f(0,t) = 1 - \exp[-\int_0^t h(\tau)d\tau] \qquad (۱۳)$$

نرخ زوال شرطی به صورت احتمال اینکه زوال در فاصله زمانی $(\tau, \tau + d\tau)$ رخ بدهد و زوالی قبل از زمان τ رخ ندهد. زمانی که آستانه زوال به حد کافی بالاست، می‌توان فرض کرد که نرخ زوال شرطی، $h(\tau)$ را می‌توان با میانگین شدت ترکیبی، $v(\tau)$ جایگزین نمود :

$$v(t) = \lim_{\Delta \to 0} \frac{P(g(X(t)) \cap g(X(t+\Delta) \leq 0)}{\Delta} \qquad (۱۴)$$

چنانچه زوال در زمان شروع $(t = 0)$ چنین لحاظ شود:

$$p_f(0,t) = p_f(0) + [1 - \exp[-\int_0^t v(\tau)d\tau]] \qquad (۱۵)$$

که در آن $p_f(0)$ احتمال زوال سازه‌ای در $t = 0$ است. رابطه ریاضی نرخ ترکیبی $v(\tau)$ وابسته به نوع فرایند بارگذاری، پاسخ سازه‌ای و حالت حدی است.

درعمل، ممکن است لازم باشد رابطه (۱۵) برای دربرگرفتن فرایندهای متعدد با مقیاس های متفاوت تغییر و یا متغیرهای اتفاقی مستقل از زمان، توسعه یابد.

یادآوری - زوال می‌تواند نتیجه ترکیب یک فرایند انباشتگی آسیب و بار دیگری با مقدار نسبتا بالا باشد.

۸-۶ انجام طرح احتمالاتی

تصمیمات طرح را بر اساس زیربندهای ۸-۱ تا ۸-۵ می‌توان مستقیما بر مبنای تحلیل احتمالاتی، که برآورده ساختن الزامات تعیین شده برای قابلیت‌اعتماد را تسهیل می‌کند، اتخاذ نمود. این رویکرد می‌تواند به واسطه در دسترس بودن موارد زیر اعمال شود:

- مدل‌های عدم قطعیت
- روش‌های قابلیت‌اعتماد و
- نظریه کارشناسانه تحلیل احتمالاتی.

اگر عنوان نشود در بیشتر موارد، در بسیاری از موارد این امکان وجود دارد که فرایند طرح را با بهره‌گیری از روش‌های نیمه احتمالاتی ساده تر نمود.

۹ روش نیمه احتمالاتی

۹-۱ کلیات

روش‌های نیمه احتمالاتی را می‌توان به عنوان جایگزینی برای تصمیم‌گیری‌های برمبنای خطرپذیری یا قابلیت‌اعتماد در محدوده وسیعی از تصمیمات مرتبط با طرح، تعمیر، مقاوم سازی، نگهداری، به کارگیری و تخریب سازه‌ها اعمال نمود. چارچوب‌های ایمنی نیمه احتمالاتی باید چنان فرموله شوند که تشخیص تصمیمات قابل قبول و عملی مرتبط با سازه‌های جدید و همچنین سازه‌های موجود را تسهیل نماید.
مبنا را باید اطلاعات عمومی مرتبط با بارها، مصالح، شرایط به کارگیری، نیروی کار ماهر، بازرسی و نگهداری، کنترل کیفی و نظارت، گرفت، به صورتی که خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد سازه در انطباق با اصول ارائه شده در زیربندهای ۴-۴ و ۴-۸ مناسب و تضمین شده باشند.
برای چارچوب‌های ایمنی نیمه احتمالاتی، تمام اطلاعات مربوط به محدودیت‌های ممکن و فرضیات، بر حسب اعتبار و کاربرد آن‌ها بهتر است مشخص شوند. که شامل تعیین موارد زیر می‌شود:

- محدودیت های قانونی، زمانی و جغرافیایی (مانند پروژه، ارتفاع، تاریخ ویرایش یا انقضا)،
- انواع سازه‌ها (مانند سازه‌های ساختمانی، سازه‌های دریایی، سازه‌های فونداسیون[تکیه‌گاهی] و غیره)
- انواع مصالح (مانند بتن، فولاد، چوب، مواد مرکب و خاک)
- انواع بار(مانند دائمی، باد، برف، ترافیک، زلزله و موج) و ترکیبات بار مربوطه برای بارهای دائمی و متغیر همراه با لحاظ کردن تثبیت و بی ثباتی بارهای دائم و
- انواع کاربری (مانند بیمارستان، انبار و تولید یا توزیع برق).

یادآوری - مدل‌های نیمه احتمالاتی معمولا متغیرهای اتفاقی را به مجموعه‌ای از مقادیر طرح با کاربرد مشخص تقلیل می‌دهند، مواردی مانند مقادیر مطلوب و نامطلوب، مقادیر ترکیب بار، مقادیر تراز قابلیت‌بهره‌برداری و غیره. واسنجی به ترازهای بالاتر تحلیل می‌تواند بر مبنای یک مقدار منفرد و همچنین برای مجموعه‌ای کامل از قواعد طرح، صورت پذیرد.

۹-۲ اصول پایه

چارچوب‌های ایمنی نیمه احتمالاتی باید شامل موارد زیر باشند:

- طبقه‌بندی رده پیامدها (به زیربند ۸-۴ و پیوست چ مراجعه شود)؛
- موقعیت‌های طرح (به زیربند ۸-۱ مراجعه شود)؛
- معادلات طرح و
- مقادیر طرح.

معادلات طرح باید براساس اصول ارائه شده در بند ۵ و بند ۶، فرموله شوند که پایه در مدل‌سازی عملکرد سازه‌ای براساس توابع حالات حدی و مدل‌سازی احتمالاتی عدم‌قطعیت دارد. فرم اصلی معادلات طرح در رابطه (۱۶) ارائه شده است، که باید برای تمام مدهای زوال مربوط سازه، موجب تسهیل تعیین مقادیر منحصربفرد پارامترهای سازه‌ای مانند خصوصیات مقطع عرضی، شوند، به گونه ای که منطبق بر الزامات ارائه شده خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد باشند.

$$G(z) = R_d(z) - S_d(z) \qquad (۱۶)$$

که در آن:
$\mathbf{z}$ بردار پارامترهای طراحی است (مثلا ابعاد مقطع عرضی)؛
$R_d(z)$ مقدار طرح برای مقاومت؛

$S_d(z)$ مقدار طرح برای تاثیر کنش است.

فرض بر این است که مقاومت توسط مدل عمومی زیر به دست آمده باشد (به پیوست پ مراجعه شود):

$$R = b\theta R(X, a) \qquad (۱۷)$$

که در آن:

$R(X, a)$ مدل مقاومت به صورتی که در استانداردهای مقاومت مربوطه تعریف شده است است؛

X خصوصیات مصالح؛

a پارامتر(های) هندسی (پارامترهای طرح $\boldsymbol{z}$ ، زیر مجموعه‌ای از a هستند)؛

θ عدم‌قطعیت مدل در ارتباط با مدل مقاومت(که با استفاده از روش پیوست پ می‌تواند تعیین شود)؛

b انحراف در مدل مقاومت است(که می‌تواند با استفاده از روش پیوست پ تعیین شود).

عموما معادلات طراحی باید برای هم برای مدهای زوال ناشی از زوال یک مقطع عرضی سازه و هم مدهایی از زوال که دربرگیرنده زوال چندین مقطع عرضی می‌شوند، فرموله شوند.

مقادیر طرح برای کنش‌های مختلف و ویژگی‌های مصالح که وارد معادله طرح می‌شوند باید به گونه‌ای تعیین شوند که خصوصیات عدم‌قطعیت‌های مربوط به بارها و مقاومت‌هایی که مرتبط به موقعیت طرح موردنظر باشند را به حساب آورند.

۹-۳ مقادیر مشخصه و معرف

۹-۳-۱ کنش‌ها

یک کنش دائم اغلب دارای یک مقدار مشخصه است. زمانی‌که کنش مربوط به وزن خود سازه است، مقدار آن G_k بهتر است از مقادیر معین کمیت‌های هندسی و میانگین وزن واحد مصالح به دست آید. هر چند در بعضی موارد، ممکن است لازم باشد دو مقدار تعریف شود، یک مقدار مشخصه بالا و یک مقدار مشخصه پائین کنش دائم.

یک کنش متغیر اغلب مقادیر معرف Q_{rep} زیر را دارا است:

- مقدار مشخصه Q_k ؛
- مقدار ترکیبی $\Psi_0 Q_k$؛
- مقدار متواتر $\Psi_1 Q_k$؛
- مقدار شبه‌دائم $\Psi_2 Q_k$.

مقدار مشخصه برای یک کنش متغیر به صورتی انتخاب می‌شود که بتوان چنین درنظر گرفت که در طول یک دوره مرجع انتخابی، احتمال مشخصی برای تجاوز به سمت مقادیر نامطلوب داشته باشد.

مقادیر ترکیبی چنان انتخاب می‌شوند که احتمال تجاوز از مقادیر اثر کنش ناشی از ترکیب، تقریبا مشابه لحاظ کردن یک کنش تنها باشد (به پیوست ث مراجعه شود).

مقادیر متواتر بصورتی تعیین می‌شوند که:

- کل زمانی که در یک دوره زمانی منتخب، از آن مقدار تجاوز شده باشد، تنها بخش کوچکی از آن دوره زمانی منتخب باشد، و
- تعداد تجاوز از آن به مقدار کوچکی محدود باشد.

یادآوری - در بعضی موارد ممکن است برای بار یکسان در موقعیت‌های طرح های متفاوت، دو یا چند مقدار متواتر وجود داشته باشد.

مقدار شبه‌دائم چنان تعریف می‌شود که کل زمانی که در یک دوره زمانی منتخب، از آن مقدار تجاوز شده باشد، از نظر اندازه نصف طول دوره منتخب باشد.

یک کنش تصادفی می‌تواند مقدار مشخصه منحصربفرد Ak داشته باشد که به عنوان مقدار طرح نیز استفاده می‌شود.

۹-۳-۲ مقاومت

مشخصات مصالح برای حجم متناسبی از مصالح تعیین شده و با مقدار مشخصه آن‌ها Xk معرفی می‌شوند. مقدار مشخصه برای یک مصالح تولیدی، در اصل بهتر است به صورت چندک مشخصی از توزیع آماری خصوصیات مصالح، که براساس استانداردهای مصالح مربوطه تولید شده است، معرفی شود. برای خاک و سازه‌های موجود، این مقادیر بهتر است بر اساس اصولی مشابه، به گونه ای برآورد شود که معرف حجم واقعی خاک یا بخش واقعی سازه‌های موجود که در طرح لحاظ می شود، باشند.

مشخصات مصالح مورد استفاده در تحلیل های غیر خطی را می‌تواند بر اساس مقادیر طرح، مقادیر مشخصه یا مقادیر میانگین حاصله از یک مفهوم سازگار ایمنی که نتایج آن در طرحی با قابلیت‌اعتماد مورد نیاز استفاده شده است باشد.

۹-۴ چارچوب‌های ایمنی

۹-۴-۱ کلیات

چارچوب‌های ایمنی نیمه احتمالاتی می‌تواند مبنایی در رویکردهای مختلف باشد. وجه مشترک تمام رویکردها، تضمین قابل قبول بودن خطرپذیری از طریق انتخاب‌های مناسب برای موقعیت‌های طرح، معادلات طرح و مقادیر معرف، است.

چارچوب‌های دیگر را مادام که همانند به کارگیری مستقیم روش‌های خطرپذیری و قابلیت اعتماد، تراز قابل قبولی از خطرپذیری و یا قابلیت‌اعتماد تامین نمایند، می‌توان لحاظ نمود.

مقادیر طرحی که وارد معادله طرح می‌شوند باید چنان انتخاب شوند که تراز کافی و مناسب قابلیت‌اعتماد برای تمام مدهای زوال مرتبط با سازه‌های مدنظر را تامین نمایند.

به عنوان یک قانون کلی، چارچوب ضرائب جزئی باید به عنوان مبنایی برای تعریف چارچوب‌های ایمنی نیمه‌احتمالاتی به کارگرفته شود.

۹-۴-۲ روش ضرائب جزئی

۹-۴-۲-۱ کنش‌ها

برای بار خاص i ، مقادیر طرح تاثیرات کنش E_d را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$E_{d,i} = \gamma_S S[G_{d,i}; Q_{d,i}; a_d] \qquad (۱۸)$$

که در آن:

a_d برداری شامل مقادیر طرح و هندسه است؛

γ_S ضریب جزئی برای منظورکردن عدم‌قطعیت‌ها در موارد زیر است:

- در مدل‌سازی تاثیرات کنش و
- در بعضی موارد، در مدل‌سازی کنش‌ها.

یادآوری - در حالت عمومی‌تر، تاثیرات کنش‌ها به ویژگی‌های مصالح وابسته است.

مقدار طرح برای کنش‌های دائم و متغیر عبارتند از:

$$G_d = \gamma_G G_k \qquad (۱۹)$$

$$Q_d = \gamma_Q Q_{rep} \qquad (۲۰)$$

که در آن:

γ_G و γ_Q به ترتیب ضرائب جزئی برای کنش‌های دائم و متغیر هستند.

۹-۴-۲-۲ مقاومت

مقادیر طرح مقاومت، Rd ، را می‌توان توسط مدل‌های مختلف تعیین نمود:

مدل ۱: در جائی که یک مقدار طرح مقاومت با استفاده از مقادیر طرح پارامترهای مقاومت مصالح تعیین می‌شود:

$$R_d = \frac{R(X_d, a_d)}{\gamma_R} \qquad (۲۱)$$

که در آن:

a_d مقادیر طرح برای هندسه هستند؛

X_d مقادیر طرح برای پارامترهای مقاومت هستند؛

γ_R ضریب جزئی مرتبط به عدم‌قطعیت مدل برای مدل مقاومت است- شامل عدم‌قطعیت‌های ممکن در ارتباط با تبدیل از آزمایشگاه به سازه واقعی و انحراف در مدل مقاومت.

مقادیر طرح برای پارامترهای مقاومت مصالح به این صورت تعریف می‌شوند:

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m} \qquad (۲۲)$$

که در آن:

η ضریب تبدیل برای لحاظ نمودن تاثیرات مدت اعمال بار، رطوبت، حرارت، تاثیر مقیاس و غیره است؛

X_k مقدار مشخصه پارامتر مقاومت است که معمولا با چندک ۵ درصد تعریف می‌شود؛

γ_m ضریب جزئی برای ویژگی‌های مصالح است.

برای کمیت‌های هندسی، مقادیر طرح $\boldsymbol{a}_d$ معمولا متناظر با ابعاد مشخص شده توسط طراح هستند.

چنانچه بیش از یک پارامتر مقاومت در مدل مقاومت استفاده شده باشد، مقادیر طرح برای هر پارامتر مقاومت در رابطه (۲۱) اعمال می‌شوند.

ضریب جزئی γ_m وابسته به عدم‌قطعیت پارامتر(های) مقاومت است و وابسته به عدم‌قطعیت مدل مقاومت، شامل انحراف :

$$\gamma_R = \frac{\gamma_\theta}{b} \qquad (۲۳)$$

که در آن:

γ_θ ضریب جزئی وابسته به عدم‌قطعیت مدل است.

مدل ۲: جائی که یک مقدار مشخصه از مقاومت با استفاده از مقادیر مشخصه پارامترهای مقاومت مصالح به دست آمده است:

$$R_d = \frac{R(\eta, X_k, a_k)}{\gamma_M} \qquad (۲۴)$$

که در آن:

γ_M یک ضریب جزئی وابسته به عدم‌قطعیت پارامترهای مقاومت X از طریق تابع مقاومت $R(X, a)$ است.

عدم‌قطعیت مقاومت وابسته به مدل عدم‌قطعیت θ و عدم‌قطعیت وابسته به پارامترهای مقاومت X از طریق تابع مقاومت $R(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{a})$ است. ضرائب جزئی ایمنی مصالح مربوطه نیز از رابطه زیر بدست میآید.

$$\gamma_M = \frac{\gamma_\theta \gamma_R}{b} \qquad (۲۵)$$

که در آن:

γ_R ضریب جزئی وابسته به پارامترهای مقاومت X از طریق تابع مقاومت $R(X\,, a)$ است؛

γ_θ ضریب جزئی وابسته به عدم‌قطعیت مدل است.

مدل ۳: جائی که یک مقدار طرح مقاومت با استفاده از یک مقدار مشخصه مقاومت تخمینی بر مبنای آزمایش تعیین شده است :

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \qquad (۲۶)$$

که در آن:

Rk مقدار مشخصه برای مقاومت تخمینی بر مبنای آزمایش است(به پیوست پ مراجعه شود)، (معمولا با چندک ۵ درصد تعریف می‌شود)؛

γ_M ضریب جزئی وابسته به عدم‌قطعیت مقاومت بدست آمده از آزمایشات و شامل عدم‌قطعیت‌های آماری است.

ضرائب جزئی بار و ضرائب جزئی مصالح γ_m، γ_R و γ_θ بهتر است چنان واسنجی شوند که احتمالات زوال برای مدهای زوال‌های مربوط نزدیک به تراز قابلیت‌اعتماد هدف در زیربند ۸-۴ باشد.

در جائی‌که مقادیر معرف در معادلات طرح در چارچوب مقادیر چندک و براساس عرف انتخاب می‌شود، تعریف می‌شوند، ضرائب جزئی و مقادیر ترکیب بار می‌توانند توسط واسنجی تعیین شوند.

ضرائب جزئی و مقادیر معرف باید چنان تعریف شوند که هم عدم‌قطعیت‌های تصادفی و هم آگاهی‌دهنده مربوط برای موقعیت طرح و مدهای زوال مدنظر را منظور نمایند. معمولا مقادیر معرف برای متغیرهای دارای اهمیت در تاثیرات کنش بصورت مقادیر چندک بالاتر انتخاب می‌شوند در حالی که مقادیر معرف دارای اهمیت برای مقاومت به صورت مقادیر چندک پائین تر انتخاب می‌شوند.

واسنجی از طریق انتخاب ضرائب جزئی و مقادیر ترکیب بار انجام می‌شود به گونه‌ای که در هنگام اعمال چارچوب ایمنی نیمه احتمالاتی به یک مجموعه سازه، تفاوت بین احتمال زوال به دست آمده و بیشینه قابل قبول احتمال زوال بر روی کل مجموعه سازه‌ها حداقل باشد. رئوس فرایند واسنجی آئین‌نامه‌های بر پایه ضرائب جزئی ایمنی، به تفصیل در پیوست ث ارائه شده است.

یادآوری- روش طراحی ضرائب بار و مقاومت(LFRD) اساسا اصول روش ضرائب جزئی را دنبال می‌کند.

۹-۴-۳ روش مقدار طرح

مبنای روش مقدار طرح، کنترل موقعیت‌های طرح و معادلات طرح متناظر آن با استفاده از مقادیر طرح متغیرهای پایه‌ای است که براساس ارزیابی قابلیت‌اعتماد تعیین شده‌اند، است. مقادیر طرح را می‌توان با استفاده از روش‌های ساده شده استفاده مستقیم روش‌های قابلیت‌اعتماد درجه یک (FORM) به صورتی که در پیوست ث نشان داده شده تعیین کرد.

۹-۵ راستی‌آزمایی در صورت آسیب انباشته

در مورد حالات حدی شامل آسیب انباشته و بدون اقدامات کاهشی، یک بررسی باید برای آخرین سال عمر سرویس دهی موردنظر انجام پذیرد:

$$R_d(X, a, n) > S_d \qquad (۲۷)$$

که در آن:

N تعداد سال های عمر سرویس‌دهی برنامه‌ریزی شده است.

Sd مقدار طرح بیشینه تاثیر کنش در سال آخر بر مبنای هدف قابلیت‌اعتماد سالانه است.

$R_d(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{a}, n)$ مقدار طرح مقاومت در پایان عمر سازه، براساس حالت ابتدایی، همه تاثیرات کنش در طول عمر و آسیب انباشته است. مقادیر طرح برای $\boldsymbol{X}$ و $\boldsymbol{a}$ می‌تواند براساس قابلیت‌اعتماد هدف وابسته به عمر بهره‌برداری باشد.

با بهره‌گیری از برنامه‌های بازرسی می‌توان الزامات را رها کرد (به پیوست ب مراجعه شود).

یادآوری - برای مثال، یک اقدام آسیب انباشته می‌تواند برای مدل کردن استهلاک سازه‌ها (در اثر خوردگی، خستگی و غیره) استفاده‌شود.

پیوست الف
(آگاهی‌دهنده)
مدیریت کیفیت

الف-۱ اهداف

هدف از این پیوست اعتبارسنجی مفروضات موجود در فرایند تصمیم‌گیری مبتنی بر خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد، با استفاده از مدیریت کیفیت، تضمین کیفیت و کنترل کیفیت است.

به طور کلی، مدیریت کیفیت، تضمین کیفیت و کنترل کیفیت باید مطابق با استانداردهای سری ISO 9000 باشد.

به طور کلی، یک عملیات اجرایی بهتر است :

الف- الزامات تعریف شده، کاربرد و اهداف را برآورده نماید؛

ب- انتظارات مشتریان را ادا کند؛

ج- مطابق با استانداردها و مشخصات قابل اجرا باشد؛

د- مطابق با الزامات قانونی(و دیگرالزامات) جامعه باشد.

به هنگام انجام یک عملیات اجرایی، حداقل یک سطح پایه از مدیریت کیفیت، تضمین کیفیت و کنترل کیفیت مورد نیاز است.

الف-۲ تعاریف

الف-۲-۱ تعاریف مربوط به مدیریت کیفیت، تضمین کیفیت و کنترل کیفیت

تعاریف کلی مربوط به مدیریت کیفیت، تضمین کیفیت و کنترل کیفیت باید مطابق با استاندارد ISO 9000:2005 باشد.

الف-۲-۱ تعاریف مرتبط با پیوست الف

الف-۲-۱-۲ برنامه نمونه‌برداری

یک برنامه نمونه‌برداری روش دقیقی از چگونگی تهیه نمونه‌ها بر مبنای کنترل کیفیت است. این روش می‌تواند توصیفی از نوع اطلاعات یا اقدامات مورد نیاز برای کنترل کیفیت، فاصله زمانی نمونه برداری، چگونگی دستیابی به اطلاعات و فرد گردآورنده این اطلاعات را دربر داشته باشد. برنامه نمونه‌برداری باید به‌گونه‌ای طراحی شده باشد که داده‌های به‌دست آمده معرف یک موجودیت و یا مشخصه‌های آن باشد.

الف-۲-۲-۲ سطح کیفیت

درجه کیفی یا کمی از کیفیت است که موردنظر و یا محقق شده است.

الف-۲-۳-۲ سطح کیفیت مورد قبول (AQL)[1]

ضعیف‌ترین سطح کیفیت است که به منظور کنترل انطباق، به عنوان میانگین فرآیند، مطلوب درنظر گرفته می‌شود.

1-Acceptable Quality Level

الف-۲-۲-۴ کیفیت محدودشونده (LQ)[1]

ضعیفترین سطح کیفیت یک خصوصیت از یک موجودیت است که در کنترل انطباق، قابل قبول درنظر گرفته می‌شود.

الف-۲-۲-۵ کسر خرابی

درصد توزیع یک مشخصه از یک موجودیت، فراتر از یک مقدار مشخص شده.

الف-۲-۲-۶ کیفیت متوسط خروجی (AOQ)[2]

کسر خرابی یک توزیع ناشناخته از یک مشخصه یک موجودیت فراتر از حاصلضرب یک مقدار مشخص در احتمال پذیرش متناظر مربوط به آن توزیع به هنگام بهره‌گیری از کنترل انطباق کاربردی.

الف-۲-۲-۷ حد متوسط کیفیت خروجی (AOQL)[3]

بیشینه مقدار مجاز از کیفیت متوسط خروجی (متناظر با حداکثر متوسط خرابی یک ویژگیِ یک موجودیت به عنوان یک نتیجه کنترل انطباق کاربردی).

الف-۳ مدیریت کیفیت

مدیریت کیفیت باید رویکردی جامع مبتنی بر ریسک در تضمین و کنترل کیفیت را شامل شود. همچنین، خطاهای انسانی، اشتباهات طراحی و خطاهای اجرا بهتر است به عنوان بخشی از سامانه جامع مدیریت کیفیت در نظر گرفته شود.

مدیریت کیفیت طراحی مستلزم انجام اقدامات زیر است:

الف- جنبه‌های مختلف قابلیت‌اعتماد کیفیت مشخص شده باشد. (به عنوان مثال ایمنی سازه، تناسب با کاربرد، راحتی، دوام، زیبایی شناسی، هزینه و غیره)

ب- این جنبه‌ها به مجموعه‌ای از الزامات برای کیفیت تبدیل شود. (به عنوان مثال ویژگی‌های عملکردی، ویژگی‌های حرارتی، ایمنی سازه، معیارهای سرویس‌دهی و استحکام، طراحی زندگی کاری، هزینه و غیره)

ج- فعالیت‌های اصلی که در دستیابی به کیفیت مؤثر است شناسایی شود. (به عنوان مثال تحقیقات اولیه، گزینه‌های مفهومی، شرایط طراحی، خصوصیات عوامل، خصوصیات مواد، تراز مهارت نیروی کار، محدودیتهای بهره گیری، اصول نگهداری) فعالیت‌های مختلف از چرخه عمر عملیات اجرایی که در کیفیت مؤثر است، شناسایی شود. این فعالیت‌ها می‌تواند به عنوان حلقه کیفیت عملیات اجرایی تفسیر شود (به جدول الف-۱ مراجعه شود).

د- فعالیت‌های مدنظر توسط مدیریت سازمان‌های ذیربط کنترل می‌شود. جدول الف-۱ می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای تهیه طرح کیفیت درنظر گرفته شود.

1- Limiting Quality
2- Average Outgoing Quality
3- Average Outgoing Quality Limit

الف-۴ تضمین کیفیت

تضمین کیفیت به منظور دستیابی به اطمینان کافی از این که طرح الزامات مشخص شده برای کیفیت را برآورده می سازد مستلزم انجام اقدامات زیر است:

- عوامل اصلی مداخله در تحقق الزامات مشخص شده برای کیفیت، بهتر است در یک برنامه کیفیت در نظر گرفته شود. (به جدول الف-۱ مراجعه شود.)

- اسناد مربوط به کنترل عوامل که در کیفیت مؤثر است بهتر است ثبت شده و در طول دوره چرخه عمر عملیات اجرایی حفظ شود.

جدول الف-۱ - فعالیت های مدیریت کیفیت در حلقه کیفیت در عملیات اجرایی

مراحل چرخه عمر فعالیت	فعالیت ها
مفهوم	- ایجاد تراز مناسبی از عملکرد برای عملیات اجرایی و قطعات - معیار برای طراحی و/یا طراحی عمر خدمت رسانی - معیار برای تأمین کننده‌ها - معیارهای اولیه برای اجرا و نگهداری - انتخاب اشخاص ثالث با پرسنل و تشکیلات صاحب صلاحیت.
طرح	- مشخصات معیارهای عملکرد برای مصالح، قطعات و مونتاژها؛ - مشخصات عمر خدمات یا اجرای چرخه عمر؛ - تایید مقبولیت و دستیابی عملکرد؛ - مشخصات گزینه‌های آزمون (نمونه، در محل و غیره)؛ - مشخصات مصالح.
مناقصه	- بررسی اسناد طراحی، از جمله مشخصات عملکرد* - پذیرش الزامات (پیمانکار)؛ - پذیرش مناقصه (مشتری).
اجرا و بازرسی	- کنترل روش‌ها و فرآیندها* - نمونه برداری و آزمایش* - اصلاح نواقص* - بررسی، اصلاح و به‌روزرسانی مفروضات طراحی* - صدور گواهینامه کار باتوجه به آزمون انطباق مشخص‌شده در مستندات طرح *.
اتمام عملیات اجرایی و تحویل به مشتری	- واگذاری و تحویل - ارزیابی عملکرد ساختمان تکمیل شده (به‌طور مثال از طریق آزمایش تحت بارگذاری عملیاتی) *.
استفاده و نگهداری	- نظارت بر عملکرد* - بازرسی برای تخریب یا توقیف* - بررسی مشکلات* - ارزیابی عملکرد سازه ای* - صدور گواهینامه کار*.
نوسازی یا تخریب	- ایجاد تراز مناسبی از عملکرد برای سازه‌های موجود و عملیات اجرایی با توجه به نوسازی

مراحل چرخه عمر فعالیت	فعالیت ها
	- ارزیابی ضرورت نوسازی و یا تخریب* - انجام فعالیت‌هایی مشابه موارد یادشده در بالا برای طراحی، مناقصه، اجرا، تکمیل، کاربری و تعمیر و نگهداری به‌منظور نوسازی*. یادداشت: تخریب خارج از حوزه این استاندارد بین المللی است.
*جنبه‌های متفاوت فعالیت‌های مدیریت کیفیت می‌تواند منجربه به‌روزرسانی بیزی ویژگی‌های موجودیت بر اساس کنترل کیفیت شود. (به بخش الف-۵-۵ مراجعه کنید).	

به طور کلی تضمین کیفیت با درنظرگرفتن محاسبات سازه، معمولاً باید مشخص باشد.

- معیارهای طراحی، از جمله بحث و تشریح مبنای طراحی و همچنین فرضیات معمول؛
- فهرست بارهای زنده، مرده و محیطی؛
- مشخصات مصالح مورد استفاده؛
- اطلاعات ژئوتکنیکی (در صورت مرتبط بودن)؛
- طرح‌های ساخته‌شده برای عناصر ساختاری.

باتوجه به ارتباط مطابق با تحلیل حساسیت ساده شده، محاسبه پیشرفته قابلیت‌اعتماد ساختمان با درنظر داشتن فعل و انفعالات بار ساختمان می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- تجزیه و تحلیل بار عمودی و طراحی سازه‌های سقف، سازه‌های کف، قاب یا خرپا، ستون‌ها، دیوارها و پی.
- تجزیه و تحلیل بار جانبی و طراحی برای اثر لرزه و باد.
- تجزیه و تحلیل دینامیکی.

در صورت استفاده از ابزار نرم‌افزار، کاربر باید از اصول اساسی نرم‌افزار برای ارائه نتایج معنی‌دار محاسبات آگاه باشد. لازمه تصمیم‌گیری در مورد اینکه کدام ویژگی‌ها باید به‌دقت مدل‌سازی شود و کدام یک به‌صورت ساده، قضاوت دقیق مهندسی است. محاسبات نرم‌افزار باید با تدبیر ایمنی مناسب جاسازی شده باشد. محاسبات قابلیت‌اعتماد سازه با استفاده از مدل‌های ساختاری ساده باید به‌عنوان یک بازبینی استفاده شود.

عدم کیفیت فعالیت‌های مدیریت کیفیت خاص، اثر نامتناسبی بر استحکام ساختاری، تضمین کیفیت و کنترل این فعالیت‌های خاص دارد و جزئیات ساختاری باید تشدید شود. روش‌های مبتنی بر ریسک را می‌توان برای نشان دادن فعالیت‌هایی که در آن اثر بالقوه نامتناسب عدم‌کیفیت که ممکن است استحکام ساختمان را به خطر اندازد، استفاده نمود.

برای سازه‌هایی که تبعات خطا و آسیب بالایی دارند، یعنی رده پیامدی ۵-۳ تعریف شده در پیوست ج، سند سازه صادر می‌شود. نگهداری و به‌روزرسانی منظم سند صادرشده وظیفه مالک است.

سند سازه باید پس از تحویل به مالک صادر شود. این سند باید اطلاعات زیر را دربر داشته باشد:

-نیازهای مالک به هندسه، مصالح، کاربرد و کارایی ساختمان.

- اشاره به مستندات مربوط به طراحی و ساخت سازه که آیا بر اساس روش‌های خطر، قابلیت‌اعتماد و یا روش‌های نیمه احتمالاتی است.
- سند مفروضات باتوجه‌به استراتژی‌ها و روش‌های کنترل وضعیت، بازرسی، نگهداری و تعمیر.

- مستندات کنترل کیفیت انجام شده مربوط به تولید مصالح، طراحی و ساخت و ساز؛
- اسناد ساختمان بناشده و راه اندازی آن به‌همراه ارزیابی عدم تطابق احتمالی و چگونگی برخورد با آن؛
- مستندات در کنترل وضعیت انجام شده، بازرسی، نگهداری و همچنین تعمیرات و دیگر اصلاحات؛
- اسناد طرح‌های تخلیه و دیگر فعالیت‌های مربوطبه کاهش تلفات برای انواع تصادفات و حوادث؛
- مدارک یک ارزیابی درحال اجرا "مناسب برای هدف" که پس‌از هر برنامه‌ریزی و انجام هر فعالیت کنترل وضعیت به‌روزرسانی می‌شود.

الف-۵ کنترل کیفیت

الف-۵-۱ مباحث عمومی

اعمال کنترل کیفیت، مستلزم انجام اقدامات زیر است:
- جمع‌آوری اطلاعات؛
- داوری براساس این اطلاعات؛
- تصمیم‌گیری براساس قضاوت.

الف-۵-۲ روند کنترل

با توجه به روند کنترل در تولید و ساخت و ساز، تمایز زیر را می‌توان قائل بود:
- کنترل تولید یا همان کنترل فرایند تولید؛ هدف از این کنترل هدایت فرایند تولید و تضمین نتایج قابل قبول است؛
- کنترل انطباق یا همان کنترل درطول روند ساخت‌وساز یا پس‌ازآن و یا کنترل نتیجه یک فرایند تولید؛ هدف از این کنترل اطمینان از مطابقت نتیجه فرایند تولید با مشخصات معین است.

یادآوری- در عملیات اجرایی، کنترل انطباق اغلب بهترین عمل برای قبل یا در طول روند ساخت‌وساز است، به عنوان مثال: قرار دادن آرماتور.

همان طور که هر دو روش کنترل اهدف متفاوتی دارند، روش‌های انجام کنترل تولید و کنترل انطباق نیز متفاوت است.

روش کنترل و همچنین اقدامات عدم انطباق احتمالی، باید پیشاپیش مشخص شده باشد.

الف-۵-۳ معیارهای کنترل و قوانین پذیرش

کنترل می‌تواند کلی و یا آماری باشد. اگر کنترل کامل باشد، تمام واحدهای تولید بازرسی می‌شود. قوانین پذیرش نشان می‌دهد که یک واحد به‌عنوان واحد خوب (پذیرفته شده) یا بد (پذیرفته نشده) در نظر گرفته می‌شود. به طور معمول، اگر معیارها کمی باشند، به مقاومت داده‌شده مراجعه کنید.

با توجه به کنترل انطباق، تمایز زیر را می‌توان قائل بود:
- کنترل توسط ویژگی‌ها: هنگامی که یک واحد در حالت "خوب" یا "بد" بوده و نتیجه تصمیم‌گیری "پذیرفته شده" یا "پذیرفته نشده" است.
- کنترل از طریق متغیرها؛ هنگامی که یک واحد را می توان با توجه به مقیاس اندازه‌گیری ارزیابی کرد.

یک روش کنترل آماری به طور کلی شامل قسمت‌های زیر است:

- دسته‌بندی محصولات؛
- نمونه برداری از هر دسته؛
- آزمایش نمونه‌ها؛
- قضاوت آماری از نتایج.
- تصمیم‌گیری در مورد پذیرش.

بهر بهتر است به گونه‌ای باشد که بتواند به‌صورت همگن (از نظر زمان و فضا) با توجه به خصوصیاتی که موضوع مطالعه کنترل هستند، درنظر گرفته شود. تعیین بهر و نمونه‌برداری از محصولات باید بر اساس برنامه مشخص نمونه‌برداری انجام شود. قضاوت از نتایج به طور معمول باید با توجه به دو مورد زیر صورت گیرد.

- سطح معینی از ضریب اطمینان و یا یک فاصله زمانی معین از ضریب اطمینان؛
- کارایی مشخص شده از ویژگی عامل مربوط به کنترل انطباق، از نظر احتمال پذیرش در سطح کیفیت قابل قبول (AQL)، کیفیت محدود (LQ) و یا از نظر مقدار مشخصی از حد متوسط کیفیت خروجی (AOQL)،
- با استفاده از تکنیک‌های بیز.

در صورت کنترل توسط ویژگی‌ها، قوانین پذیرش به‌عنوان تعداد قابل قبولی از خرابی C در یک نمونه آزمایشی تصادفی به‌اندازه n مشخص شده است. در صورت کنترل توسط متغیرها، هنگامی که تابع انطباق متشکل از یک یا چند آماره آزمون مبتنی بر n نمونه آزمون تصادفی در درون یک منطقه قابل قبول باشد، تأیید می‌شود. منطقه قابل قبول می‌تواند از یک یا چند مرز تشکیل شده باشد.

الف-۵-۴ فرآیند کنترل

می‌توان تمایزی بین مراحل کنترل متفاوت زیر و باتوجه‌به شخص یا سازمان ناظر بر کنترل، درنظر گرفت:

- خودسنجی فردی؛
- کنترل داخلی؛
- کنترل پذیرش انجام شده توسط مدیریت پروژه؛
- کنترل گروه خارجی مستقل طراحی یا اجرا؛
- کنترل و نظارت توسط سازمان مشتری.

انتخاب مراحل کنترل موردنیاز یادشده باید وابسته به سطح بازرسی کیفیت باشد، که می‌تواند به تمایز سطح کیفیت بستگی داشته باشد (به بخش الف-۶ مراجعه شود).

کنترل مضاعف اغلب وجود دارد، مانند مواردی که توسط مقامات دولتی براساس قوانین ساخت‌وساز و یا آیین‌نامه ها آغاز و اجرا می‌شود.

کنترل‌های داخلی، در همان اداره، کارخانه، کارگاه و یا مکانی که عملیات مورد هدف این کنترل صورت می‌پذیرد، اجرا می‌شود. با این حال، عملیات و کنترل توسط نهادهای جداگانه انجام می‌شود.

اگر فرایند کنترل متشکل از چند مرحله باشد، برای نتیجه نهایی مهم است که فعالیت‌های این مراحل، تا آنجا که ممکن است، به معنای آماری، دوبه‌دو مستقل باشند ؛ در غیر این صورت، کارایی کنترل کاهش خواهدیافت.

در بسیاری از موارد، راه‌اندازی یک طرح کنترلی که بخشی از طرح کیفیت یادشده در بخش الف-۴ است، لازم است.

الف-۵-۵ فیلتر کردن اثرات کنترل کیفیت

به طور کلی، کنترل کیفیت یک موجودیت دارای اثر مطلوب بر ویژگی‌های آن است؛ با توجه به این واقعیت که وجود کیفیت مورد نیاز (مانند مدیریت کیفیت، تولید و کنترل انطباق)، نهاد را به ارائه محصولات با کیفیت بالا وادار می‌کند. این اثر فیلتر مطلوب در ارائه عدم‌قطعیت (بند ۶)، تصمیم‌گیری مبتنی بر احتمال (بند ۷)، و ارزیابی استحکام ساختاری (پیوست ج) مؤثر است. از این رو، اثرات مفید کنترل کیفیت ممکن است در روش‌های مبتنی بر ریسک گنجانده شود.

یک یا چند جنبه از کنترل کیفیت، به عنوان مثال مدیریت کیفیت، تضمین کیفیت و یا کنترل کیفیت (توسط کنترل تولید و یا کنترل انطباق)، می‌تواند به عنوان گزارش در ارائه عدم‌قطعیت با استفاده از تکنیک‌های بیزی درنظر گرفته شود. در مورد کنترل انطباق، ویژگی‌های عملیاتی می‌توانند به عنوان یک تابع درستنمایی درمورد به‌روزرسانی بیزی درنظر گرفته شود. در مورد دوم، به روز رسانی پارامترها یا پارامترهای فوق‌العاده از مدل‌های احتمالی را می‌توان به شرح زیر محاسبه نمود:

$$f_{\overline{B}}^{"}(\beta) = \frac{P_a(\beta) f_{\overline{B}}'(\beta)}{\int P_a(\beta) f_{\overline{B}}'(\beta) d\beta} \qquad \text{(الف-۱)}$$

با بردار β با پارامترها یا پارامترهای فوق‌العاده یک مدل احتمالی از جامعه آماری به روز می‌شود، تابع توزیع خلفی بردار β و $P_a(\beta)$ از مشخصه عملیاتی کنترل انطباق است، به عنوان مثال احتمال پذیرش یک جمعیت با یک مدل احتمال با پارامترها یا پارامترهای فوق‌العاده β مشخص می‌شود.

نشانه آزمایشی فعالیت های مدیریت کیفیت، برای چنین به روز رسانی بیزی از مشخصه‌های نهاد که ممکن است در نظر گرفته شود، در جدول الف-۱ نشان داده شده است.

در صورتی که کنترل کیفیت به عنوان گزارش درارائه عدم‌قطعیت یا تصمیم گیری مبتنی بر احتمال درنظر گرفته شود، با این حال همیشه باید از اجرای کافی کنترل کیفیت اطمینان حاصل شود.

در صورت استفاده از مواد جدید و یا روش‌های ساخت جدید، کنترل کیفیت مضاعف به‌همراه تعریف کمی از تأثیر آن بر روش مبتنی بر ریسک و یا مبتنی بر قابلیت‌اعتماد می‌توان یک طراحی مبتنی بر قابلیت‌اعتماد یا مبتنی بر ریسک را به هنگام عدم‌قطعیت ترکیب مواد و مدل توجیه نمود. در صورت فقدان اطلاعات پیشین، پیشینه مبهم و یا پیشینه کم آموزنده قضاوت متخصص بر اساس پیشینه را می‌توان در رویکرد بیزی فوق استفاده کرد.

الف-۶ تمایز سطح کیفیت

سه سطح کیفیت ممکن (QL) در جدول الف-۲ نشان داده شده است. سطوح کیفیت را می‌توان با مدیریت کیفیت، تضمین کیفیت و اقدامات کنترل کیفیت شرح داده شده در بندهای الف-۳، الف-۴ و الف-۵، مرتبط دانست. هر سه مؤلفه (مدیریت کیفیت، تضمین کیفیت و کنترل کیفیت) به هنگام اختصاص یک سطح کیفیت باید با هم در نظر گرفته شوند.

تمایز سطح کیفیت می‌تواند به‌طور مستقیم به رده‌های پیامدی شرح‌داده‌شده در بخش ه-۱ مرتبط شود. بدین ترتیب، آن‌ها می‌توانند به طور مستقیم به یک تمایز در کاربردهای ساختاری پیوند داده شوند.

یادآوری- این تمایز سطح کیفیت همچنین می تواند به یک تمایز در شاخص قابلیت‌اعتماد β که پذیرفته و لحاظ شده یا تنوع آماری در عمل، مقاومت، و عدم‌قطعیت مدل فرض می‌شود.

در مورد ساختمان‌ها، عملیات و سامانه‌های مهندسی با بالاترین پی‌آمدهای در تلفات انسانی و یا خسارات اقتصادی، اجتماعی و یا زیست محیطی که، همان ساختمان‌های عمومی با پیامدهای زوال بالا هستند (از قبیل سالن کنسرت، جایگاه تماشاگران، ساختمان‌های بلندمرتبه، اجزای باربر بحرانی و غیره)، باید سطح کیفیت QL3 اعمال شود. تراز کیفیت مورد نیاز می‌تواند بر پایه روش‌های مبتنی بر قابلیت‌اعتماد انتخاب شود.

جدول الف-۲ سطوح کیفیت (QL)

سطح کیفیت (QL)	رده پیامدی (از پیوست ج)	شرح	شرح ترکیبات کنترل برای مشخصات نیازها و بررسی‌ها
QL1	۱تا۲	سطح کیفیت بنیادی	خود کنترلی: مشخصات مورد نیاز برای مدیریت کیفیت، تضمین و کنترل و همچنین بررسی انجام شده توسط شخصی غیر از آن که مرحله چرخه عمر مربوطه را تهیه کرده است.
QL2	۳	انجام تلاش مضاعف با درنظر گرفتن نظارت و بازرسی در طول ساخت اعضای کلیدی سازه‌ای	مشخصات الزامات برای مدیریت کیفیت، تضمین و کنترل و به‌همراه بررسی خودکنترلی منظم و همچنین توسط اشخاص متفاوت با آن که مرحله چرخه عمر مربوطه را مطابق با روال سازمان تهیه کرده است.
QL3	۵-۴	سطح کیفیت گسترده مربوط به اقدامات گسترده برای مدیریت کیفیت، بازرسی و کنترل	علاوه‌بر خود کنترلی و کنترل منظم، کنترل توسط سازمانی مستقل نیز باید انجام شود: مشخصات مورد نیاز برای مدیریت کیفیت، تضمین و کنترل و همچنین بررسی انجام شده توسط سازمانی متفاوت از سازمان تهیه‌کننده مرحله چرخه عمر. نظارت و بازرسی شدید در حین ساخت سامانه باربر اصلی سازه‌ای توسط افراد واجد شرایط و دارای دانش تخصصی. (مثلا به نسبت طرح و یا اجرای سازه‌ها)

پیوست ب
(آگاهی‌دهنده)
مدیریت مادام‌العمر یکپارچگی سازه‌ای

ب-۱ مقدمه

مدیریت یکپارچه سازه (SIM)[1] یک فرایند مادام‌العمر و مداوم است که باید تضمین کند، یک سازه اهداف و مقاصد یاد شده در زیربند ۴-۲-۱ را با درجه مناسبی از قابلیت‌اعتماد، در طول عمر کاری خود، از زمان ساخت تا زمان تخریب برآورده می‌کند. این فرایند ضروری است، چرا که حتی اگر سازه با توجه به اهداف بالا طراحی و ساخته شده باشد، هیچ تضمینی وجود ندارد که در آینده نیز به برآوردن آن اهداف ادامه دهد.

یکپارچگی سازه می‌تواند با گذشت زمان و دراثر تخریب و آسیب‌های ناشی از کنش‌های مختلف و تأثیرات زیست محیطی مختل شود، کاربری و یا بارگذاری آن ممکن است تغییرکند و یا ممکن است لازم باشد عمر خدمت‌رسانی آن بیشتر از عمر کاری طرح آن بیشتر شود. علاوه‌بر این، ممکن است خطاهایی در طراحی و ساخت وجود داشته باشد.

در چنین شرایطی، بازرسی و تعمیر و نگهداری برای تشخیص کاستی‌های غیرمنتظره، آسیب و تخریب ضروری است. به‌دنبال آن باید توسط یک ارزیابی مناسب و تعمیر و یا ارتقا احتمالی انجام شود تا به حفظ یکپارچگی سازه کمک شود. ضرورت انجام چنین اقداماتی در طول عمر خدمت سازه باید در مدت زمان طراحی و ساخت، در محاسبات مدنظر قرارگیرد.

یادآوری - این بازرسی‌ها شامل هرگونه فعالیت با هدف جمع‌آوری اطلاعات در مورد عملکرد سازه در طول عمر خدمت آن می‌شود و در نتیجه بهتر است آنچه که معمولاً به نظارت منسوب می‌شود را نیز درک و لحاظ نمود.

در ادامه، یک فرآیند SIM کلی در چارچوب یک رویکرد مبتنی بر قابلیت‌اعتماد یا ریسک، شرح داده می‌شود. مراحل اصلی فرایند مانند جمع‌آوری داده‌ها، ارزیابی، توسعه استراتژی و برنامه بازرسی درنظر گرفته خواهد شد. به‌روزرسانی ارزیابی قابلیت‌اعتماد سازه با استفاده از داده‌های بازرسی جدید از توجه ویژه برخوردار خواهدبود.

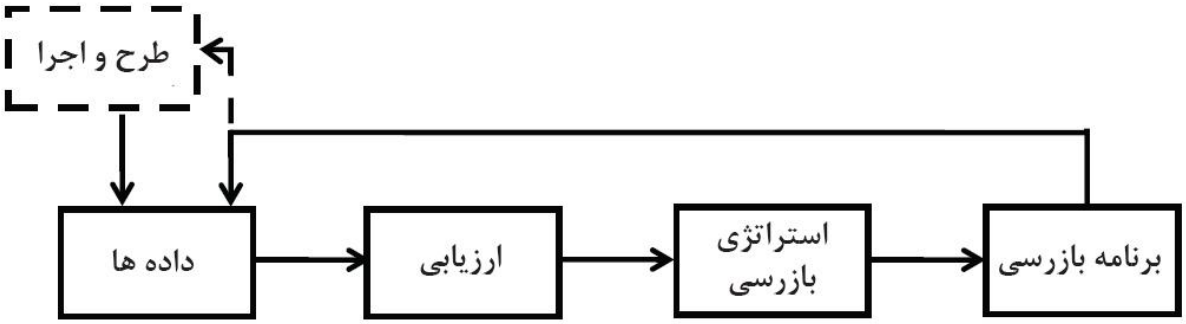
ب-۲ مراحل اصلی فرایند مدیریت یکپارچگی سازه‌ای

فرایند SIM شامل مراحل زیر است (ISO 19902):

- جمع آوری داده‌ها، خصوصا توسط بازرسی.
- بررسی داده‌های تشریح شده، و بدنبال آن درصورت لزوم، ارزیابی سازه‌ای و اقدامات اصلاحی.
- توسعه استراتژی بازرسی.
- توسعه یک برنامه بازرسی دقیق.

مراحل فرایند در شکل ب-۱ نشان داده شده و جزئیات بیشتری نسبت به پیوست را در نظر گرفته است.

1- Structural Integrity Management



شکل ب-۱ - مراحل فرآیند مدیریت یکپارچه سازه‌ای

پیکان خطچین موجود در شکل ب-۱، که از فرایند SIM به سمت طراحی و اجرا کشیده شده است، بر اهمیت برنامه‌ریزی این فرایند در حین طراحی و ساخت تأکید می‌کند. این کار شامل شناسایی اجزایی سازه است که برای یکپارچگی آن اهمیت داشته و می‌تواند در طول عمر خدمت سازه موجب آسیب و یا تخریب آن شود. طراحی باید دسترسی نسبتاً آسان به این اجزا برای بازرسی و نگهداری از آن‌ها را تضمین کند. این موضوع نیز باید در نظر گرفته شود که چنین اجزایی ممکن است در طول عمر سازه نیاز به تعمیر و یا جایگزینی داشته باشند. بنابراین، تا آنجا که عملی باشد، طراحی باید اجازه دهد که این اقدامات با سهولت نسبی انجام شود. در صورتی‌که در طول برنامه‌ریزی آغازین فرایند SIM مشخص شود که شرایط فوق برآورده نمی‌شود ممکن است لازم شود تغییراتی در طرح اولیه ایجاد شود.

ب-۳ جمع‌آوری اطلاعات

به‌روزرسانی اطلاعات سازه برای یک فرآیند SIM ضروری است. داده‌ها بهتر است شامل اطلاعاتی در مورد طرح اصلی سازه، اجرا، بازرسی، ارزیابی سازه‌ای، اصلاحات، تغییر کاربری، مقاوم‌سازی، تعمیرات و حوادث باشد. در برخی موارد، اطلاعات پارامترهای سازه‌ای مانند کرنش، تنش، تغییرشکل، لرزش، دما، فشار و غیره را می‌توان به طور مداوم از طریق نظارت جمع‌آوری کرد. توجیه اقتصادی نظارت را می‌توان براساس تجزیه و تحلیل هزینه-فایده سازه با نظارت و بدون نظارت تنظیم نمود. تمام اطلاعات جمع‌آوری‌شده باید توسط مالک یا متصدی اینکاردر طول عمر سازه نگهداری شده و درصورت تغییر مالکیت، به مالک جدید منتقل شود.

ب-۴ ارزیابی و سنجش سازه‌ای

ب-۴-۱ ارزیابی داده ها

زمانی که اطلاعات جدید سازه دردسترس باشد، تمام داده های مرتبط، نیاز به سنجش با قضاوت مهندسی دارد. سپس در صورت لزوم، تجزیه و تحلیل دقیق‌تر، به منظور تعیین نیاز به ارزیابی سازه‌ای یا به روزرسانی استراتژی بازرسی انجام می‌شود. توجه شود که درمورد به روزرسانی استراتژی بازرسی، می‌توان بدون ارزیابی

دقیق سازه‌ای، تصمیم‌گیری کرد، درحالی‌که ممکن است ارزیابی سازه‌ای لزوماً به به‌روزرسانی استراتژی بازرسی منجر نشود.

ارزیابی یک سازه معمولاً زمانی مورد نیاز است که یا:

الف- هدف یا کاربری سازه در مقایسه با طرح اصلی و یا ارزیابی قبلی تغییر کرده باشد؛

ب- ویژگی‌های سازه از آنچه در طرح اصلی و یا ارزیابی قبلی به تصویب رسیده بوده است، تغییر کرده باشد.

شرایط در زمانی که هدف یا کاربری سازه تغییر کرده باشد، عبارت است از:

- افزایش در بارگذاری یا کنش‌ها؛
- تغییر کاربری؛
- طولانی‌تر شدن عمر سازه از عمر کاری طرح آن؛
- افزایش تراز قابلیت‌اعتماد هدف، به‌دلیل افزایش اهمیت سازه در جامعه.

شرایط در زمانی‌که ویژگی‌های سازه تغییر کرده باشد، عبارت است از:

- خطای طراحی؛
- ایرادها یا خرابی سازه در طول اجرا؛
- استهلاک سازه (به عنوان مثال به علت خوردگی، فرسودگی و غیره)؛
- سازه در یک رویداد تصادفی و یا بار اضافه آسیب دیده باشد؛
- اصلاح سازه؛
- تغییر در الزامات طراحی باتوجه به تجدیدنظر در آئین‌نامه‌های طراحی.

انجام ارزیابی سازه ممکن است نیازمند مجموعه‌ای از داده‌های بیشتر از طریق بازرسی مضاعف باشد.

بدون ارزیابی نیز می‌توان تصمیم به انجام به‌روزرسانی استراتژی بازرسی گرفت، برای مثال زمانی که شواهدی موجود باشد که یک فرایند استهلاکی رخ داده اما هنوز هیچ خسارت مرتبطی مشاهده نشده است، وقتی شرایط محیطی تغییر کرده باشد، سازه‌های مشابه عملکرد رضایت‌بخشی را به نمایش نگذاشته باشند و از این قبیل موارد.

ب-۴-۲ ارزیابی سازه‌ای

یک ارزیابی بهتر است تعیین کند که آیا یک سازه باتوجه‌به شاخص‌های اجرایی یادشده در زیربند ۴-۱ استاندارد با اهداف تعیین‌شده‌اش متناسب است یا اقدامات اصلاحی مورد نیاز است. در رویدادهای رویارویی ارزیابی، آسیب پذیری و استحکام سازه در هماهنگی با زیربند ۴-۲-۲ در نظر گرفته شده است، به عبارت دیگر با همان شیوه به کاررفته در طراحی سازه. با این حال، در خصوص عدم‌قطعیت تفاوتی اساسی بین ارزیابی و موقعیت‌های طرح وجود دارد.

در مقطع طراحی، عدم‌قطعیت‌ها از پارامترهای مقاومت و بار پیش‌بینی شده یک سازه به‌وجود می‌آید، که در آن زمان وجود ندارند. این عدم‌قطعیت‌ها گویای تنوع زیاد سازه‌هایی است که عمدتاً به‌علت کیفیت‌های متفاوت مصالح و شیوه‌های اجرا و تنوع بارهای ویژه سایت ایجاد می‌شود. ارزیابی آن‌ها براساس مشخصات از قبل تعیین‌شده برای تولید و اجرای سازه‌ها، به‌همراه داده‌های عمومی مشخصه‌های آماری بارها و پارامترهای محیطی انجام شده‌است.

در ارزیابی، سازه موجود می‌تواند به‌صورتی بازرسی یا آزموده شودکه بار، مقاومت و پارامترهای محیطی قابل اندازه‌گیری در محل باشند. با این حال، این به این معنا نیست که مشکل عدم‌قطعیت به‌طور کامل قابل حل است، چرا که بازرسی یا آزمون درحین خدمت نیز عدم‌قطعیت‌های مربوط به خود را دارد. لازم است به خاطر داشت که روش‌های بازرسی دقت محدودی دارند. بنابراین نتایج بازرسی تنها می‌توانند به‌عنوان شاخصی از وضعیت واقعی یک سازه درنظر گرفته شوند. موضوع میزان دلالت شاخص در موقعیت خاص با وضعیت واقعی سازه است. برای این منظور، مفهوم احتمال تشخیص (POD)[1] بسیار مفید است. POD ازطریق احتمال تشخیص نقص با اندازه و گستردگی معین، کیفیت روش بازرسی را کمی‌سازی می‌کند.

عدم‌قطعیت مرتبط با بازرسی یا آزمون درحال‌خدمت شامل موارد زیر است:

- خطای اندازه‌گیری؛
- تغییرات ذاتی یک پارامتر اندازه‌گیری‌شده؛
- عدم‌قطعیت مدل در هنگامی‌که پارامتر موردنظر را نتوان به طور مستقیم اندازه‌گیری نمود و بنابراین رابطه‌ای بین آن و پارامتر اندازه‌گیری شده متناظر مورد نیاز است؛
- عدم‌قطعیت آماری باتوجه‌به تعداد محدود اندازه‌گیری‌ها.

عدم‌قطعیت مرتبط با بازرسی باید در ارزیابی سازه‌ای مدنظر قرارگیرد. این مورد می‌تواند با استفاده از روش‌های احتمالاتی به‌طور ضمنی در تحلیل قابلیت‌اعتماد و یا برای به‌روزرسانی مقادیر مشخصه و مقادیر طرح متغیرهای پایه، انجام شود. باتوجه‌به ماهیت متفاوت عدم‌قطعیت‌های مربوط به طراحی و ارزیابی، قابلیت اعمال مقادیر مشخصه متغیرهای پایه و ضرائب ایمنی جزئی از آئین‌نامه‌های طراحی باید به دقت بررسی شود.

یک طرح محافظه‌کارانه معمولا به افزایش قابل توجه هزینه‌های اجرا منجر نمی‌شود، در حالی که یک ارزیابی محافظه‌کارانه می‌تواند به تعمیرات و یا جایگزینی غیرضروری و پرهزینه منجر شود. بنابراین، به منظور کاهش عدم‌قطعیت مدل، میتوان برای ارزیابی سازه‌های موجود از مدل‌های سازه‌ای اصلاح‌شده‌تر در مقایسه با آنچه در آیین‌نامه‌های طراحی است(مانند مدل المان محدود)، استفاده کرد.

فرآیند جمع‌آوری اطلاعات، ارزیابی عملکرد سازه‌ای ازطریق تحلیل و بازنگری فعالیت‌های تعمیر و مقاوم‌سازی، یک فرایند تصمیم‌گیری است که هدف آن شناسایی مؤثرترین بازرسی‌ها و اصلاحات لازم برای برآوردن الزامات جدید استفاده از سازه و یا برطرف نمودن هرگونه شک و تردید درخصوص وضعیت کنونی و عملکرد آتی آن است. بهینه بودن این روند با درنظر داشتن کامل هزینه‌های کل عمر خدمت سازه از اهمیت بسیار برخوردار است.

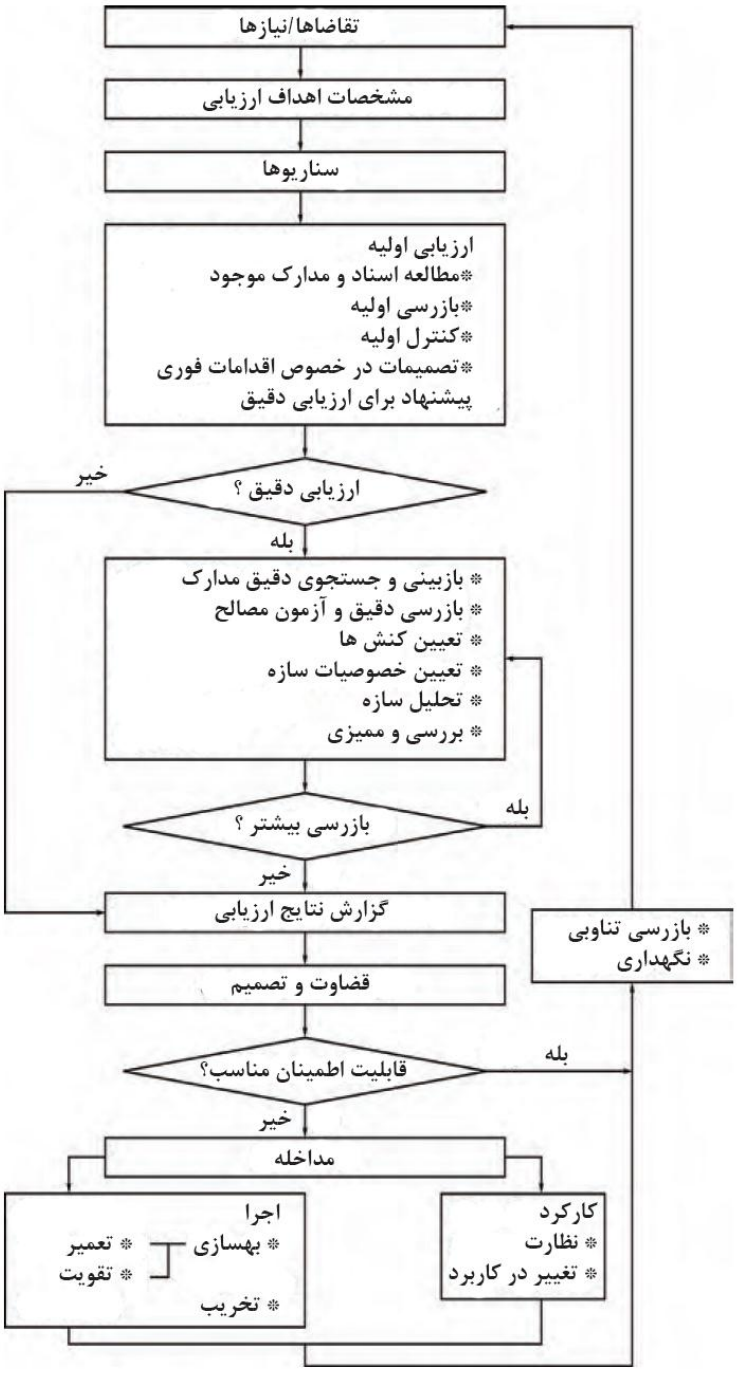
یک فرایند ارزیابی عمومی می‌تواند مطابق با فلوچارت نشان داده شده در شکل ب-۲ سازمان‌دهی شود (ISO 13822: 2010، پیوست ب). اطلاعات بیشتر درباره ارزیابی سازه‌ای را می‌توان در ISO 13822 کسب نمود.

ب-۴-۳ به‌روزرسانی اطلاعات

به‌روزرسانی اطلاعات مرتبط با ویژگی‌های یک سازه، بخش ضروری ارزیابی است. می‌توان دو دیدگاه مکمل زیر را برای به‌روزرسانی درنظر گرفت:

الف- بررسی عملکرد کل سازه (یا عناصر سازه‌ای آن) توسط آزمون بارگذاری یا با استفاده از اطلاعاتی در مورد عملکرد گذشته آن؛

1- Probability Of Detection



شکل ب-۲ - فلوچارت برای یک فرایند ارزیابی عمومی

ب- جمع‌آوری اطلاعات درخصوص متغیرهای پایه منحصربه‌فرد با انجام بازرسی درحال خدمت. به‌روزرسانی اطلاعات نامطمئن موجود قبلی با بهره‌گیری از داده‌های بازرسی جدید، معمولاً با استفاده از روش بیزی انجام

می‌شود. به‌روزرسانی می‌تواند با استفاده از به‌روزرسانی تک مشاهده-رویداد یا به‌روزرسانی چندین مشاهده-توزیع انجام شود. در مورد اول، یک پارامتر کنترل‌کننده "زوال" اندازه‌گیری می‌شود. اگر مشاهده متناظر با محدوده ایمنی $H\ [=g\ (X)]$، بزرگتر از صفر باشد، احتمال زوال به‌روزشده به‌صورت زیر است:

$$p_f^U = p[g(X) \le 0 | H > 0] = \frac{p[g(X) \le 0 \cap H > 0]}{p[H > 0]} \qquad (ب-۱)$$

بازدهی این به‌روزرسانی به میزان نزدیکی ارتباط پارامتر اندازه‌گیری شده با زوال بستگی دارد.

برای نشان‌دادن به‌روزرسانی درحالت‌دوم یک متغیر پایه‌ای X را درنظر بگیرید که تابع چگالی احتمال آن به مجموعه‌ای از پارامترهای θ بستگی دارد (به عنوان مثال میانگین و انحراف استاندارد). توزیع پیشین θ را با $f'_\theta(\theta)$ نشان دهید. این توزیع بر اساس اطلاعات موجود در θ پیش‌از بازرسی درحال خدمت است. لازم به ذکر است که حتی اگر این اطلاعات نسبتاً معدود باشند، مهم است که آن‌ها را در محاسبات درنظر بگیریم، زیرا می‌توانند عدم اطمینان در φ و به‌دنبال آن عدم اطمینان در X را به‌طور قابل توجهی کاهش دهند. فرض کنید که $\mathbf{x}' = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ برداری شامل نتایج حاصل از n اندازه‌گیری درطول بازرسی درحال خدمت است. براساس قضیه بیزی، توزیع خلفی در φ، $f''_\theta(\theta)$است، بنابراین:

$$f''_\theta(\theta) = \frac{L(\theta|x) f'_\theta(\theta)}{\int_\theta L(\theta|x) f'_\theta(\theta) d\theta} \qquad (ب-۲)$$

که در آن :

$L(\theta|x)$ یک تابع احتمال وقوع است که متناسب با احتمال شرطی $f_{X|\theta}(x_i|\theta)$، (i=1,2,..n) از اندازه‌گیری‌ها به عنوان :

$$L(\theta|x') \propto \prod_{i=1}^{n} f_{X|\theta}(x_i|\theta) \qquad (ب-۳)$$

توزیع پیش‌بینانه زیر از X برای برآورد احتمال خطای تجدیدنظر شده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$f_X(x) = \int_\theta f_{X|\theta}(x|\theta) f''_\theta(\theta) d\theta \qquad (ب-۴)$$

آزمون بارگذاری را می‌توان برای بررسی مقاومت یک سازه موجود (و یا اجزاء آن) استفاده کرد. مشاهده اینکه یک سازه از آزمون بارگذاری جان سالم به‌در می‌برد، تنها نشان می‌دهد که حداقل مقاومت سازه، بزرگتر از اثر بار اعمال شده است – این آزمون، مقاومت واقعی سازه را آشکار نکرده و اندازه‌گیری معنی‌داری از ایمنی سازه ارائه نمی‌کند. با این حال، نتایج حاصل از آزمون بارگذاری را می‌توان با استفاده از یک روش احتمالاتی (یا قابلیت‌اعتماد) تحلیل نمود. اگر سازه‌ای از یک بارگذاری شناخته شده جان سالم به‌در ببرد، سپس تابع اصلی توزیع تجمعی از مقاومت سازه $F'_R(r)$، به سادگی تا حد اثر این بار مشخص محدود می‌شود، QPL، به‌گونه‌ای که تابع توزیع به‌روزشده مقاومت، $F''_R(r)$ ، به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$F''_R(r) = \frac{F'_R(r) - F'_R(Q_{PL})}{1 - F'_R(Q_{PL})} \qquad (ب-۵)$$

عملکرد رضایت‌بخش سازه در طول T سال خدمت به این معنی است که مقاومت سازه بزرگتر از حداکثر اثر بار در این بازه زمانی است. تابع توزیع تجدیدنظر شده مقاومت سازه در زمان T به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$F_R^{"}(r) = \frac{\int_0^r F_Q^T(r) F_R'(r) dr}{\int_0^\infty F_Q^T(r) f_R'(r) dr} \qquad (ب-۶)$$

که در آن :

F_Q^T توزیع تجمعی حداکثر اثر بار در T سال است.

$f_R'(r)$ تابع چگالی احتمال مقاومت پیش‌از بارگذاری است.

ب-۵ راهبرد بازرسی

بسیار پسندیده است که استراتژی بازرسی درحال خدمت سازه، ابتدا در زمان طراحی یک سازه و براساس داده‌های عمومی مربوط به سازه‌های مشابه تحت بار و شرایط محیطی مشابه، توسعه یابد. اطلاعات به‌دست‌آمده توسط مدل‌سازی اثرات فرآیندهای تخریب احتمالی استهلاکی می‌تواند در عمرطراحی کاری سازه نیز استفاده شود. بسیار مهم است که تقویم بازرسی با توجه به هزینه چرخه عمر سازه بهینه شود.

توانایی روش‌های مختلف بازرسی (چشمی و NDE) برای تشخیص آسیب‌ها و نواقص به ماهیت مورد اخیر بستگی دارد. هنگامی‌که شناسایی علل احتمالی آسیب‌ها یا نواقص ممکن باشد، ابداع استراتژی‌های بازرسی مناسب نیز امکان‌پذیر است، یعنی بازرسی در چه‌مکانی، با چه‌روشی و هر چند وقت انجام شود. با این حال، برنامه‌ریزی برای بازرسی‌های دوره‌ای به‌منظور تشخیص پدیده‌های پیش‌بینی نشده احتمالی و یا پدیده‌هایی که به‌سادگی شناخته نمی‌شوند و می‌توانند به یکپارچگی سازه آسیب برسانند، نیز ضروری است. این امر به ویژه در آغاز عمر سازه که اشتباهات طراحی و اجرا می‌توانند خود را نشان دهند، مهم است. در این زمینه، یک بازرسی پایه برای تعیین شرایط اولیه سازه، پس از اتمام اجرا مورد نیاز است. در مراحل بعد، چنین پدیده‌ای می‌تواند به خسارت ناشی از حوادث مربوط شود. یک بازرسی برنامه‌ریزی‌شده بر اساس گزارش حادثه ممکن است پس از وقوع یک حادثه مورد نیاز باشد. در چنین مواردی، معمولاً یک بازرسی چشمی که کل سازه را پوشش دهد، مفید است.

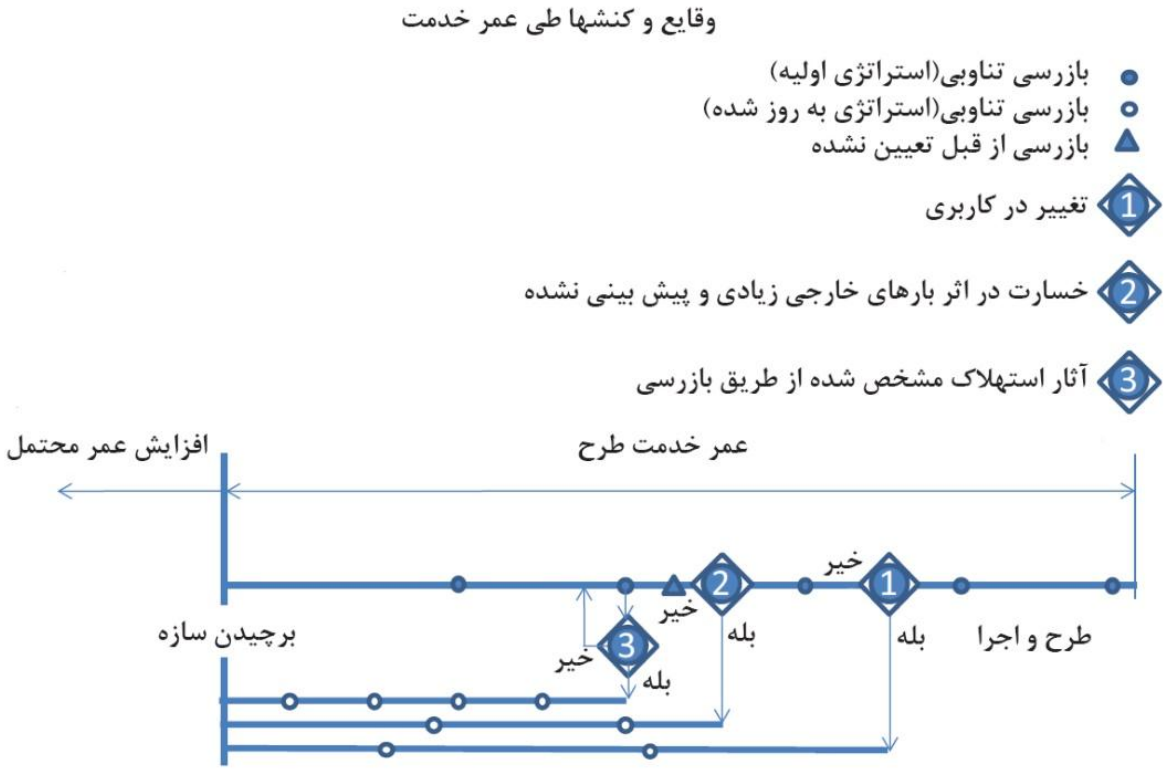
به‌روزسازی استراتژی بازرسی باید از طریق اصلاحات و به‌صورت دوره‌ای، در طول عمر یک سازه، معمولا پس از دریافت داده‌های جدید، نتایج ارزیابی سازه و سایر داده‌ها یا اطلاعات مربوط به فرایند SIM انجام شود. تناوب به‌روزرسانی بازرسی و توسعه آن باید با تحلیل هزینه و فایده تنظیم شود.

برنامه بازرسی مبتنی بر ریسک (RBI)[1] را می‌توان برای بهینه‌سازی استراتژی بازرسی به‌کار برد. این روش ریسک‌های مرتبط با زوال اجزاء سازه را درنظر گرفته و معمولاً شامل بکارگیری مدل احتمالاتی از استهلاک سازه و بازرسی‌ها است، که از طریق به‌روزرسانی بیزی ترکیب شده‌اند. بهینه‌سازی بر مبنای به حداقل رساندن هزینه مورد انتظار در طول‌عمر خدمت سازه بوده و شامل هزینه‌های زوال سازه، بازرسی‌ها و تعمیر است ، که در این میان احتمالات قابل قبول زوال، محدودیت‌های آن محسوب می شوند.

بازرسی به خودی‌خود یکپارچگی سازه را بهبود نمی‌بخشد. بنابراین، ضروری است که همراه با استراتژی بازرسی، برنامه‌ای برای نگهداری سازه، تعمیر و یا جایگزینی که از نتایج بازرسی استخراج می‌گرددد، تهیه شود. یک استراتژی جامع، که شامل بازرسی، نگهداری و عملیات تعمیر است را می‌توان با به‌حداقل رساندن هزینه چرخه عمر یک سازه توسعه داد.

شکل ب-۳ به‌کارگیری SIM در طول عمر یک سازه، تحت سناریوهای مختلف را تشریح می‌کند.

1- Risk-based Inspection



شکل ب-۳- رویدادها و اقدامات مرتبط با SIM در طول عمر یک سازه

ب-۶ برنامه بازرسی

برنامه بازرسی اهداف اجرایی تفصیلی برگرفته از استراتژی بازرسی است. این برنامه، پیش‌از اجرا، نیازمند برنامه‌زمانی، بودجه، مشخصات پرسنل و فرایندهای دیگر، به‌ویژه انتخاب روش و فرایند مناسب بازرسی است.

پیوست پ
(آگاهی‌دهنده)
طراحی براساس مشاهدات و مدل‌های تجربی

پ-۱ بررسی اجمالی

طراحی بر اساس مدل‌های تجربی (یا به‌طور خلاصه طرح به‌وسیله آزمون) روشی برای ایجاد مقادیر طرح پارامترهای بار و یا ویژگی‌های مقاومت مصالح و اعضا سازه‌ای تعریف شده است.

روش تشریح شده در این پیوست تا حد زیادی براساس سنجش آماری نتایج آزمون‌های سازگار با مفهوم طرح احتمالاتی و طرح ضریب جزئی استوار است.

دامنه این پیوست موارد زیر را پوشش می دهد:

مواردی که به‌علت نبود مدل‌های نظری متناسب یا داده‌های کافی، با اطلاعات داده شده در آئین‌نامه‌های اجرایی قابل انجام نیستند.

مواردی که آنقدر خاص هستند که داده‌های مورد استفاده معمول در محاسبات، شرایط واقعی را به‌درستی منعکس نمی‌کنند (مثلا به‌علت یک روش تولید خاص).

مواردی که به‌نظر می‌رسد رابطه طراحی موجود منجر به نتایج بسیار محافظه کارانه شده و انتظار می‌رود که یک بررسی حالات حدی نتایج مقرون‌به‌صرفه‌تری ارائه نماید.

تدوین روابط جدید طراحی.

این پیوست آزمون‌های غیر مخرب و آزمایش کنترل کیفیت برای مواد خاص (به‌عنوان مثال خاک) را پوشش نمی‌دهد؛ جزئیات ویا محدودیت‌های بیشتری ممکن است مناسب باشد. پیوست الف مرجع کنترل کیفیت است.

پ-۲ ملاحظات متداول

به منظور ایجاد ترتیب آزمون مربوطه، قبل از انجام آزمایشات باید یک تحلیل کیفی اولیه برای یافتن مناطق یا شرایطی که ممکن است برای عضو موردنظر بحرانی باشد، صورت پذیرد. علاوه بر این، باید تعریفی روشن از حالت حدی مورد بررسی ارائه شود.

واحدهای آزمون شده باید ترجیحاً در همان اندازه و با همان فن‌آوری واحدهایی که مقرر است مطابق با آزمون تولید شده و بکار روند، تولید گردند و در شرایط مربوطه بصورت اتفاقی برای آزمون انتخاب شوند.

روش آزمون نباید تنها به ثبت مقادیر نهایی محدود شود. بهتر است به پدیده‌هایی که به‌هنگام تجاوز از حالت حدی مورد نظر روی می دهد، به شرایط موجود، سازوکار این حالت حدی و همچنین شرایط مرزی رخ می‌دهد، توجه شود (مثل اینکه تاچه حد با آنچه در سازه واقعی مورد انتظار است تفاوت دارد یا شرایط بارگذاری و غیره).

ممکن است شرایطی که هنگام تجاوز از حالت حدی مدنظر رخ می‌دهد، به خصوص مد زوالی که عامل قطعی زوال است، همیشه آشکار نباشد. پیشرفت برنامه آزمایش و سنجش نتایج به‌دست‌آمده از آزمون، مستلزم دانش مناسب نظری، تجربه در آزمایش و قضاوت مهندسی است.

روش‌هایی که برای استخراج مقادیر طرح از آزمون استفاده می‌شوند باید (به‌طور کلی) تعداد محدود آزمون‌ها را د نظر داشته باشند. سنجش می‌تواند براساس یک مدل تحلیل موجود (به بند پ-۶ مراجعه شود) و یا در صورت وجود نداشتن چنین مدلی، بر اساس سنجش مستقیم (به بند پ-۵ مراجعه شود) انجام شود. علاوه‌بر این مشاهدات آماری، باید توجه داشت که تئوری‌های کلی رفتار سازه‌ای و مجموعه قوانین طراحی پذیرفته شده معمول، در طول طرح توسط آزمون، معتبر باقی بمانند.

نتیجه‌گیری حاصله از یک تحقیق خاص، به ویژگی‌ها و یا فن‌آوری تولید مرتبط با دامنه تحقیقات برمی‌گردد. تعمیم نتیجه‌گیری‌ها مستلزم آزمون جدید است، مگر اینکه براساس تحلیل نظری، تعمیم نتایج به‌دست‌آمده به رده دیگر اعضا امکان پذیر باشد.

پ-۳ لحاظ نمودن تفاوت‌های بین واقعیت و شرایط آزمون

شرایط حین آزمایش می‌تواند از شرایط سازه موردنظر در محیط واقعی متفاوت باشد. چنین تفاوت‌هایی باید با ضرائب تبدیل یا اصلاح مناسب محسوب شوند.

ضریب تبدیل η باید با تحلیل تجربی یا نظری برمبنای یک نظریه کلی سازه‌ای و یا تجربی تعین شود. معمولاً اعمال درجاتی نظر فردی اجتناب ناپذیر است.

تاثیراتی که توسط η منظور میشود می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- اثرات اندازه؛
- اثرات زمان (معمولاً آزمون‌ها تحت بارگذاری کوتاه مدت انجام می‌شود، درحالی‌که ظرفیت حمل بار و تغییر شکل مواد در بسیاری از مصالح به اثرات طولانی مدت بستگی دارد).
- شرایط مرزی واحد آزمایش‌شده (آزاد یا ثابت و...)
- رطوبت مؤثر بر ویژگی مصالح.

به عنوان مثال در خصوص شرایط نحوه ساخت نمونه، تولید براساس شرایط آزمایشگاهی به‌جای شرایط واقعی، می‌تواند ویژگی‌های سازه‌ای(مثلا ویژگی‌های اتصالات در سازه‌های مونتاژ شده) را به‌طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار دهد. چنانچه این تاثیرات غیر قابل اجتناب لحاظ شوند، باید اصلاحات لازمه صورت پذیرد یا از نمونه‌های تولید شده با کیفیت واقعی استفاده شود.

پ-۴ طراحی

قبل از انجام آزمایشات، طرح آزمون باید توسط طراح و تشکیلات آزمایش‌کننده تهیه شود.

طرح باید هدف انجام آزمون و تمام مشخصات لازم برای انتخاب یا تولید نمونه آزمون، اجرا و سنجش آزمون را در لحاظ نماید. به‌طور خاص، طرح آزمون باید به موارد زیر بپردازد:

الف- دامنه اطلاعات مورد نیاز از آزمون (به عنوان مثال پارامترهای مورد نیاز و محدوده اعتبار).

ب- شرح تمام ویژگی‌ها و شرایطی که می‌توانند رفتار حالت حدی مورد بررسی را تحت تاثیر قرار دهند (به عنوان مثال پارامترهای هندسی و میزان تغییرات آن‌ها، ویژگی‌های مصالح، پارامترهای تحت تأثیر فرایندهای ساخت و نصب، اثرات اندازه، شرایط محیطی).

پ- مدهای زوال یا مدل تحلیل با متغیرهای مناسب.

ت- اندازه‌گیری ویژگی‌های مربوط به هر نمونه آزمون که پیش‌از اجرای آزمون باید انجام شود؛ نمونه‌هایی از این متغیرهای پایه مرتبط، تأثیرات محیطی، ویژگی‌های مصالح و کمیت‌های هندسی هستند.

ث- معیارهای ویژگی‌های نمونه (به‌عنوان مثال معیارهای ابعاد، مصالح و ساخت نمونه‌های اولیه، فرایندهای نمونه برداری و محدودیت‌ها).

ج- تعداد نمونه و فرایند نمونه‌گیری.

یادآوری ۱- اگر یک مدل تحلیل در دسترس بوده و مقادیر تمام متغیرهای تصادفی اندازه‌گیری شده باشد، فرایند نمونه‌برداری دخیل نیست. در تمام موارد دیگر، باید اطمینان حاصل شود که آزمونه ها از نمونه معرف انتخاب شده است. ممکن است منظورکردن جمعیت آماری تولید کنندگان مختلف (مثلا با استفاده از فاکتورهای وزنی) لازم باشد.

یادآوری ۲- نمونه طراحی نقطه گرا برای نمونه‌های کوچک و هنگامی‌که حالت خطا می‌تواند به عنوان یک تابع از متغیرهای اساسی تغییر یابد، توصیه می‌شود. به طور کلی، این روش قویاً برای عیوب هندسی توصیه می‌شود. برای پارامترهای نیرو، این مفهوم باید با دقت ارزیابی شود. به عنوان مثال، ممکن است تفاوتی بین یک نمونه ضعیف بتن درجه ۳۰ و یک نمونه متوسط بتن درجه ۲۰ وجود داشته باشد، حتی اگر هر دو دارای مقاومت فشاری باشند.

چ- معیارهایی در مورد بارگذاری و شرایط محیطی در آزمون (مواردی مانند: نقطه بارگذاری، مسیرهای بارگذاری در زمان و مکان، درجه‌حرارت و بارگذاری با کنترل تغییر شکل و یا نیرو). مسیرهای بارگذاری باید به‌صورتی انتخاب شوند که معرف هدف پیش‌بینی شده کاربرد عضو سازه‌ای باشند، که مسیرهای نامطلوب ممکن را درنظر داشته باشند و یا آن‌دسته از مسیرهایی که در تحلیل موارد قابل مقایسه لحاظ شده‌اند در نظر گرفته شوند.

یادآوری ۳- هنگامی‌که ویژگی‌های سازه‌ای مشروط به یک یا چند اثر از کنش‌هایی باشد که به طور سامانه‌ای تغییر نمی‌کنند، این اثرات باید توسط مقادیر طرح خود مشخص شوند. هنگامی که آن‌ها مستقل از پارامترهای دیگر مسیر بارگذاری باشند، مقادیر طرح مربوط به ترکیب بار تخمینی می‌تواند مورد قبول واقع شود.

ح- مقدمات آزمایش (اقداماتی برای اطمینان از تاب مناسب و سختی سکوهای بارگذاری و نگهدارنده و فضای کافی برای تغییر شکل و غیره).

خ- نقاط و روش‌های مشاهده (قرائت) و ثبت (مثلا تاریخچه زمانی جابجایی‌ها، سرعت، شتاب، کرنش‌ها، نیرو و فشار، تواتر و دقت مورد نیاز اندازه‌گیری و دستگاه‌های اندازه‌گیری).

پ-۵ سنجش مستقیم نتایج آزمون

پ-۵-۱ عمومی

در این پیوست، فرض بر این است که مقاومت یک عضو سازه‌ای و یا تاب یک مصالح مستقیما توسط آزمون سنجیده می‌شود. علاوه بر این فرض می‌شود که تاب یک نمونه را می‌توان با یک کمیت منحصربفرد نشان داد و سازوکار زوال تحت بررسی، سازوکار بحرانی برای همه آزمون‌ها است.

اگر نتایج در ارتباط با یک روش طراحی احتمالاتی استفاده شود، داده‌های آزمون می‌توانند برای به‌روز رسانی یک توزیع از قبل تعریف‌شده برای پارامترهای آماری مقاومت استفاده شوند. برای اطلاعات بیشتر به بند پ-۵-۳ مراجعه شود. اگر از چارچوب ضریب جزئی استفاده می‌شود، روش بند پ-۵-۲ می‌تواند اعمال گردد.

پ-۵-۲ طراحی ضریب جزئی

مقدار طرح برای استفاده در روش ضریب جزئی باید از رابطه زیر برآورد شود:

$$R_d = \eta_d\{m_R - t_{vd}S_R\sqrt{1+\frac{1}{n}} \qquad \text{(پ-۱)}$$

که در آن :

m_R مقدار میانگین نمونه است؛

S_R انحراف معیار نمونه است.

t_{vd} ضریب توزیع محقق (جدول پ-۱) است.

n تعداد آزمایشات است.

η_d مقدار طرح ضریب تبدیل است.

مقادیر t_{vd} از جدول پ- ۱ استخراج می‌شود که در آن $v = n - 1, \beta_R = \alpha_d\beta$ ، که β شاخص قابلیت‌اعتماد هدف است و α_d مقدار طرح برای ضریب تاثیر FORM (روش قابلیت‌اعتماد درجه اول). در صورتیکه عدم‌قطعیت R غالب باشد شخص باید از $\alpha_d = 0.8$ استفاده کند و در غیر اینصورت $\alpha_d = 0.3$ (به بندهای ث-۵-۲ و ث-۵-۳ مراجعه شود).

برای استفاده در روش ضریب جزئی، دو راه ممکن است:

الف- مقدار مشخصه Rk با استفاده از رابطه(پ-۱) تعریف شده است، اما با $\beta_R = 1.6$؛ ضریب جزئی از $\gamma m = Rk/Rd$ پیروی می‌کند.

ب- از مقدار γm که برای نوع مصالح و زوال استفاده شده، استفاده می‌شود. در این روش، مقدار مشخصه Rk به‌صورت $Rk = \gamma mRk$ تعریف شده است؛ توجه داشته باشید که در این مورد، Rk می‌تواند احتمال گذر از مقدار حدی متفاوت از ۰/۹۵ داشته باشد.

اینکه چه روشی انتخاب شود تنها به ارائه مربوط می‌شود. در هر دو مورد، مقادیر طرح یکسانی در فرآیند راستی‌آزمایی استفاده می‌شوند.

رابطه (پ-۱) براساس توزیع نرمال برای R و توزیع پیشین فاقد اطلاعات برای انحراف معیار و میانگین است. اگر انحراف معیار از قبل معلوم باشد، می‌توان انحراف معیار نمونه را با انحراف معیار توزیع جایگزین‌کرد و $v = \infty$ را درنظر گرفت. برای پردازش انواع دیگری از اطلاعات پیشین، از معادلات ارائه شده در بند پ-۵-۳ استفاده می‌شود.

می‌توان توزیع نرمال را یک توزیع نسبتاً محافظه‌کارانه محسوب نمود. توزیع‌های مطلوب‌تری مانند لگ نرمال و یا ویبل تنها درصورت وجود شواهد متعدد از آزمون، قابل استفاده خواهند بود.

یادآوری - برای بسیاری از مصالح ساختمانی معمول، می‌توان این شواهد را موجود در نظر گرفت.

روش بیزی، به شکلی که در اینجا ارائه‌شده، نسبت به انحراف معیار مشاهده شده (σ_R) در صورتی که این کمیت از پیش معلوم نباشد، حساس است. این روش ممکن است برای از حذف مقادیر بیش‌ازحد کوچک و بزرگ انحراف معیار خلفی، به‌منظور اجتناب از نتایج غیرایمن و یا غیراقتصادی توصیه شود. یکی از راه های ممکن برای رسیدن به این هدف حتی در صورت وجود نداشتن اطلاعات مشخص، انتخاب یک توزیع پیشین مناسب برای انحراف معیار است. صرف این واقعیت که یک مهندس تعدادی راه حل فنی و به حد کافی عملی را لحاظ می‌کند تا به آزمون گذاشته‌شود، می‌تواند به‌عنوان یک استدلال مورداستفاده قرارگیرد.
در بند پ-۵-۳ اطلاعات بیشتری در خصوص این روش داده شده است.

جدول پ-۱، مقادیر t_{vd}

		درجات آزادی(ν)								
β_R	$\Phi(-\beta_R)$	1	2	3	5	7	10	20	30	∞
1,28	0,10	3,08	1,89	1,64	1,48	1,42	1,37	1,33	1,31	1,28
1,65	0,05	6,31	2,92	2,35	2,02	1,89	1,81	1,72	1,70	1,64
2,33	0,01	31,8	6,97	4,54	3,37	3,00	2,76	2,53	2,46	2,33
2,58	0,005	63,7	9,93	5,84	4,03	3,50	3,17	2,84	2,75	2,58
3,08	0,001	318	22,33	10,21	5,89	4,78	4,14	3,55	3,38	3,09
توجه: چنانچه انحراف معیار مشاهده شده معلوم است ،باید از درجه آزادی بی نهایت استفاده شود										

مثال ۱- یک نمونه با ۳ قطعه آزمون ($n = 3$) را در نظر بگیرید، که میانگین نمونه 100 kN و انحراف معیار نمونه 15 kN است. مقدار مشخصه ۵٪ برای ۲ درجه آزادی ($V = 2$) بصورت زیر به دست می‌آید:

$$R_k = m_R - 2.92S_R\sqrt{1+\frac{1}{3}} = m_R - 3.37S_R \times 15 = 49.5\ kN$$

یادآوری - روش مرسوم منجر به نتیجه $R_k = m_R - 3.15S_R = 52.8\ kN$ می‌شود (جدول پ-۱ را ببینید). نتیجه تقریباً یکسان است.

پ-۵-۳ ارزیابی با استفاده از روش‌های احتمالی کامل

در یک اصلاح کامل احتمالاتی، اولین قدم ایجاد یک تابع توزیع پیشین به برای پارامترهای توزیع نامعلوم مقاومت (R) است. چنین توزیعی باید اطلاعات پیشین موجود این پارامترها را منعکس کند. با داشتن این توزیع پیشین و داده‌های آزمون آماری، می‌توان توزیع خلفی را به‌صورت زیر به‌دست آورد:

$$f''(q) = C \times L(\bar{x}|q)f'(q) \qquad (پ-۲)$$

که در آن :

$f''(\boldsymbol{q})$ توزیع خلفی $\boldsymbol{q}$ است؛

$f'(\boldsymbol{q})$ توزیع پیشین $\boldsymbol{q}$ است؛

$L(\boldsymbol{x}|\boldsymbol{q})$ تابع تشابه برای پارامترهای $\boldsymbol{q}$ با داشتن مشاهدات $\boldsymbol{x}$ است.

$\boldsymbol{q}$ بردار پارامترهای توزیع است (به عنوان مثال میانگین و انحراف معیار).

و C ثابت همسان‌کننده است.

در نهایت، خود توزیع به‌روز شده R بصورت زیر صورت توسط اطلاعات پیشین و داده‌های آزمون، به‌دست می‌آید:

$$f_R(r) = \int f_R(R|q) f''q) dq \qquad (پ-۳)$$

که در آن :

$f_R(r|\boldsymbol{q})$ توزیع R برای مقادیر داده شده $\boldsymbol{q}$ است:

و $f''_R(r)$ توزیع به‌روز شده R است.

توزیع برای R را می‌توان مستقیماً در فرایند طرح احتمالاتی مورد استفاده قرار داد (بخش‌های ۷ و ۸). همچنین استخراج مقادیر طرح (بخش ۹) بر اساس رابطه پ-۳ امکان‌پذیر است.

ترجیحاً باید مواردی را مورد نظر قرار داد که R دارای توزیع نرمال باشد. بردار پارامترهای توزیع پارامترها شامل میانگین μ و انحراف معیار σ است. توزیع پیشین برابر است با:

$$f'(\mu,\sigma) = k\sigma^{-(v'+\delta(n')+1)}\exp(-\frac{1}{2\sigma^2}(v'(s')^2 + n'(\mu'-m')^2)) \qquad (پ-۴)$$

که در آن :

$n' = 0$ برای $\delta(n') = 0$

$n' > 0$ برای $\delta(n') = 1$

این انتخاب ویژه اجازه انجام یک اصلاح تحلیلی‌تر از مجموع را فراهم می‌کند. رابطه توزیع پیشین (پ-۴)، شامل چهار پارامتر m '، n'، s' و v' است. مفهوم این پارامترها در ادامه آمده است.

پارامترهای s' و v' اطلاعات پیشین در مورد انحراف معیار را توصیف می‌کنند. امید و ضریب تغییرات انحراف معیار σ بدین صورت (برای مقادیر زیاد v') محاسبه می‌شوند:

$$E(\sigma) = s' \qquad (پ-۵)$$

$$V(\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2v'}} \qquad (پ-۶)$$

اطلاعات پیشین در مورد میانگین توسط $n', m',$ و s' مشخص می‌شود، امید و انحراف معیار μ (برای مقادیر زیاد v') به صورت زیر بیان می‌شود:

$$E(\mu) = m' \qquad (پ-۷)$$

$$V(\mu) = \frac{s'}{m'\sqrt{n'}} \qquad (پ-۸)$$

همچنین این امکان وجود دارد که اطلاعات پیشین به‌عنوان نتیجه فرضی مجموعه آزمون قبلی تعبیر شود، یکی برای میانگین و یکی برای انحراف معیار. در آن صورت، برای انحراف معیار داریم:

- s' مقدار نمونه فرضی؛
- v' تعداد درجه آزادی فرضی برای s'؛

اطلاعات برای میانگین نیازمند دو پارامتر اضافی است:

- m' میانگین فرضی نمونه؛

- n' تعداد مشاهدات فرضی برای m'.

به عبارت دیگر، m' و s' بهترین برآورد برای میانگین و انحراف معیار هستند. با انتخاب n' و v' ، عدم‌قطعیت‌ها نسبت به برآوردها قابل بیان خواهد بود.

همچنین توجه داشته باشید که برای یک آزمون، معمولاً $v = n - 1$ درنظر گرفته می‌شود، درحالی‌که می‌توان پارامترهای پیشین n' و v' را به طور مستقل از یکدیگر انتخاب کرد.

یادآوری ۱- اگر اطلاعات بسیار کمی در دسترس باشد، n' و v' را باید برابر صفر درنظر گرفت. در این صورت، نتایج نهایی مطابق بخش پ-۵-۲ خواهند بود. اگر تجربه گذشته منجر به دانش تقریباً قطعی در مورد میانگین و انحراف معیار شود، n' و v' می‌توانند مقادیر نسبتاً بالاتری را اختیار کنند، برای مثال ۵۰، متناظر با $V(\sigma) = 0.10$ و $V(\mu) = 0.14s'/m'$

یادآوری ۲- در بسیاری از موارد، معقول به نظر می رسد که فرض کنیم هیچ اطلاعات قبلی در مورد میانگین وجود نداشته و یا اطلاعات بسیار کمی موجود است. (بنابراین $n' = 0$) ، اما ممکن است برآورد نسبتاً خوبی از σ به‌دست آید. به‌عنوان مثال، ضریب تغییرات σ را ۳۰٪ منظور می‌کنیم که براساس رابطه (پ-۵) متناظر با $v' = 5$ می‌شود. چنین مدلی را می‌توان براساس نتیجه بسیاری از نمونه‌های آزمون‌های پیشین پایه‌ریزی نمود که تفاوت قابل ملاحظه‌ای در میانگین نمایان بوده، اما این تفاوت به طور قابل توجهی در انحراف معیار کمتر است. برای مکعب‌های بتنی، این مسئله بسیار نزدیک به واقعیت است. زمانی که این گزینه انتخاب شده باشد، از وضعیتی که در آن نمونه‌های کوچک به نتایج غیراقتصادی و یا بسیار ناامن منجر شود اجتناب می‌کنیم.

با استفاده از رابطه (پ-۲) می‌توان اطلاعات پیشین مشخص شده توسط رابطه (پ-۴) را با نتیجه آزمون از n مشاهده با میانگین نمونه m و انحراف معیار s ترکیب کرد. نتیجه آن یک توزیع خلفی با میانگین و انحراف معیار نامشخص برای R خواهد بود، که مجدداً از رابطه (پ-۴) به‌دست می‌آید. اکنون با استفاده از پارامترهای داده شده و قوانین تجدیدنظر شده زیر داریم:

$$n'' = n' + n \qquad (پ-۹)$$

$$v'' = v' + v + \delta(n') \qquad (پ-۱۰)$$

$$m'n' = n'm' + nm \qquad (پ-۱۱)$$

$$(v''(s'')^2 + n''(m'')^2) = (v'(s')^2 + n'(m)^2) + vs^2 + nm^2 \qquad (پ-۱۲)$$

که در آن :

$v = n - 1$؛ $\delta(n') = 0$ برای $n' = 0$ و در غیر اینصورت $\delta(n') = 1$

با استفاده از رابطه (پ-۲)، می‌توان مقدار R را اینگونه پیشگویی کرد:

$$R = m'' - t_{v''}s''\sqrt{(1 + \frac{1}{n''})} \qquad (پ-۱۳)$$

در اینجا $t_{v''}$ دارای توزیع t میانی است؛ مقادیر $t_{v''}$ برای احتمال تجاوز از حدود در جدول پ-۱ داده شده است. اصلاحات برای توزیع لگ نرمال از R بسیار ساده است.

مثال ۲- مثال ۱ را در نظر بگیرید، اما فرض کنید سری آزمون‌های قبلی نشان داده‌اند که:

- میانگین نمونه به‌طور متوسط برابر ۱۱۰ kN و با ضریب تغییرات ۳۰٪ است.
- انحراف معیار نمونه به‌طور متوسط برابر ۲۰ kN و با ضریب تغییرات ۳۰٪ است.

با توجه به رابطه‌های (پ-۵) تا (پ-۸)، این اطلاعات پیشین منجر به پارامترهای توزیع پیشین زیر می‌شود:

$$m' = 110\ kN,\ n' = 0\ kN,\ s' = 20,\ v' = 1/(2V^2) = 1/(2 \times 0{,}3^2) = 5$$

اکنون این اطلاعات پیشین با نتایج آزمون معرفی شده در مثال ۱ ترکیب کنید (سه نمونه با میانگین نمونه ۱۰۰ کیلو نیوتن و انحراف معیار ۱۵کیلونیوتن). سپس با استفاده از رابطه‌های (پ-۶) تا (پ-۹) به پارامترهای زیر برای توزیع خلفی دست می‌یابیم:

$$n'' = 0 + 3 = 3$$
$$v'' = 5 + 2 = 7$$
$$m'' = 100\ \text{kN}$$
$$7(s'')^2 + 3 \times 100^2 = 5 \times 20 + 0 \times 110^2 + 2 \times 15^2 + 3 \times 100^2$$

یا

$$s'' = 18{,}7\ \text{kN}$$

با استفاده از رابطه (پ-۱۳) و جدول (پ-۱) به نتیجه زیر برای مقدار مشخصه ۵٪ می‌رسیم:

$$Rk = 100 - 1.89 \times 18.7\sqrt{1 + \frac{1}{3}} = 100 - 2{,}17 \times 18{,}7 = 59{,}3\ kN$$

تغییر در مقادیر مشخصه از ۴۹/۵ کیلو نیوتن به ۵۹/۳ کیلو نیوتن به علت اثر اطلاعات پیشین است. برای مقادیر طرح، این اختلاف حتی می‌تواند بزرگتر باشد.

پ-۶ ارزیابی براساس مدل تجزیه و تحلیل

فرض کنید که یک مدل تجزیه و تحلیل برای ویژگی سازه مورد بررسی موجود است. مدل کاملی با تنها یک ضریب ناشناخته θ از آزمون اختیار کنید. چنین مدلی به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$Y = \theta\, g(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{W}) \qquad \text{(پ-۱۴)}$$

که در آن :

X بردار متغیرهای تصادفی است.

W مجموعه‌ای از متغیرهای قطعی قابل اندازه‌گیری است.

$g(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{W})$ مدل است.

Y پارامتر خروجی قابل اندازه‌گیری این مدل است.

θ ضریب ناشناخته است، که توسط آزمایش تعیین خواهد شد.

از پارامتر θ به‌عنوان پارامتر عدم‌قطعیت مدل نیز یاد می‌شود. در صورت نبودن اطلاعات دیگر، فرض می‌شود که θ دارای توزیع لگ نرمال است، به این معنی که $\theta' = ln\theta$ نرمال است.

فرض کنید یک سری آزمایش برای $\boldsymbol{I} = 1,2,..n$ انجام شده است، که در آن:

- مقادیر W با wi برای $i = 1,2,..n$, تعیین شده‌اند؛
- مقادیر X با xi برای $i = 1,2,..n$,اندازه‌گیری شده‌اند؛
- مقادیر Y با y_i برای $i = 1,2,..n$,اندازه‌گیری شده‌اند.

از این نتایج، می‌توان مجموعه‌ای از مشاهدات را برای ضریب ناشناخته θ استخراج نمود:

$$\theta_i = \frac{y_i}{g(x_i, w_i)} \qquad \text{(پ-۱۵)}$$

میانگین و انحراف معیار برای $\theta' = ln\theta$ از رابطه‌های زیر پیروی می‌کنند:

$$m(\theta') = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\theta'_i \qquad (پ-۱۶)$$

$$s(\theta')^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\theta'_i - m(\theta'))^2 \qquad (پ-۱۷)$$

که θ'_i از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\theta'_i = \ln[y_i/g(x_i, w_i)] \qquad (پ-۱۸)$$

مقدار طرح نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\theta_d = \exp[m(\theta')]\exp[\mp t_{vd}s(\theta')\sqrt{\left(1+\frac{1}{n}\right)}] \qquad (پ-۱۹)$$

عامل $exp[m(\theta')]$ اغلب به عنوان عامل انحراف شناخته می‌شود؛ اگر $m(\theta') = 0$ آنگاه $exp[m(\theta')] =$ 1,0 و مدل غیرانحرافی نامیده می‌شود.

مقادیر t_{vd} از جدول (پ-۱) به‌دست می‌آیند، که در آن $v = n - 1$ و $\beta_R = \alpha_d\beta$ با شاخص قابلیت‌اعتماد هدف β و مقدار طرح α_d برای ضریب تاثیر روش FORM. درصورت رد شدن نشانه‌های دیگر، اگر عدم‌قطعیت R غالب باشد، باید از $\alpha_d = 0,8$ استفاده کنید و در غیر اینصورت $\alpha_d = 0,3$ (پیوست ث را ببینید).

مقاومت طرح R_d عضو سازه‌ای طراحی‌شده توسط آزمون به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_d}\eta_d g(x_d, w) \qquad (پ-۲۰)$$

که $\gamma_d = \frac{1}{\theta_d}$ و η_d مقدار طرح عدم‌قطعیت مدل است.

پیوست ت
(آگاهی‌دهنده)
قابلیت‌اعتماد سازه‌های ژئوتکنیکی

ت-۱ مقدمه

هدف ضمیمه ت ، لحاظ نمودن لزوم کاربرد این استاندارد بین المللی در طراحی ژئوتکنیکی است. اگرچه به طور کلی اصول طراحی برمبنای قابل اطمینان برای مهندسی ژئوتکنیک نیز قابل اجرا است، اما ضروری است برای تغییرپذیری بیشتری که توسط پارامترهای طراحی ژئوتکنیک و سایر شرایط محیطی تدارک لازم صورت پذیرد. همان طور که در یادداشت ۴ زیربند ۶-۱-۱ ارائه عدم قطعیت، رابطی مهم بین این استاندارد و طرح ژئوتکنیکی است که در این پیوست در مورد آن بحث می‌شود.

براساس آئین‌نامه مدل احتمالاتی(JCSS 2001)، یک ویژگی ذاتی سازه‌های ژئوتکنیک، نقش اصلی عدم‌قطعیت‌های خواص خاک است. همین امر منجر به تنوع روش ها در طرح ژئوتکنیک می‌شود.

تاکید این بخش بر شناسایی و توصیف ویژگی‌های عناصر بحرانی در پروسه طراحی ژئوتکنیک بر مبنای قابلیت‌اعتماد است. در کاربرد عملی موارد مشخص موجود ژئوتکنیکی، نمی‌توان به این عناصر استناد نمود.

عناصر مهم قابل تمایز به شرح زیر می باشند:

الف- ضرائب تغییرات (COVs)[1] پارامترهای طراحی ژئوتکنیک می‌توانند به طور بالقوه بزرگ باشند چرا که مصالح آن طبیعی بوده نمی‌توان از تغییرات آن‌ها در محل کاست(در مقابل، اکثر مصالح سازه‌ای تحت کنترل کیفی تولید می شوند).

ب- ضرائب تغییرات پارامترهای طراحی ژئوتکنیک یکسان نبوده و بسته به فرایند حصول آن‌ها می‌توانند تفاوت های وسیعی داشته باشند.

پ- به دلیل متفاوت بودن مشخصات پارامترهای طراحی ژئوتکنیک برای هر ساختگاه ، معمولا ابتدا مطالعات میدانی برای هر ساختگاه انجام می‌شود. به همین دلیل، عدم‌قطعیت آماری بهتر است با دقت بیشتری بررسی شود.

ت- معمولا در مطالعات میدانی، آزمون‌های آزمایشگاهی و آزمون‌های میدانی هر دو باید انجام شوند .معمولا یک پارامتر طراحی ژئوتکنیک به بیش از یک شاخص آزمون زمین یا آزمون آزمایشگاه وابسته است. مهم است سازه وابسته به چند متغیر را تا حد امکان بررسی دقیق نمود چرا که افزایش اطلاعات یکپارچه باعث کاهش ضریب تغییرات پارامتر طراحی می‌گردد.

ث- تغییرات مکانی پارامترهای طراحی ژئوتکنیک ، نمی تواند به آسانی نادیده گرفته شود زیرا حجم مصالح خاکی که در تعامل با سازه است به مضاربی از طول مشخصه سازه (از جمله ارتفاع شیب ، قطر تونل ، عمق حفاری) مربوط می‌شود که معمولا بزرگ‌تر از مقیاس نوسانات پارامتر طراحی به خصوص در جهت عمودی است.

1- Coefficients Of Variation

ج- معمولا مدل‌های محاسباتی ژئوتکنیکی مختلف بسیاری برای یک طرح مشابه وجود دارد. از این رو واسنجی مدل بر پایه آزمون‌های میدانی و تجربیات محلی اهمیت دارد. به دلیل تعداد مدل ها و تعداد اطلاعات واسنجی، افزایش فاکتورهای مدل، مورد انتظار است.

چ- یک سامانه ژئوتکنیک، مثل گروه شمع‌ها و یک خاکریز، یک مورد قابلیت‌اعتماد سامانه، شامل چندین مد زوال همبسته می‌شود. بعضی از این مسائل با توجه به این واقعیت که سطوح زوال در اثر تغییرات مکانی محیط خاکی دو برابر می شوند ، پیچیده‌تر می‌گردند.

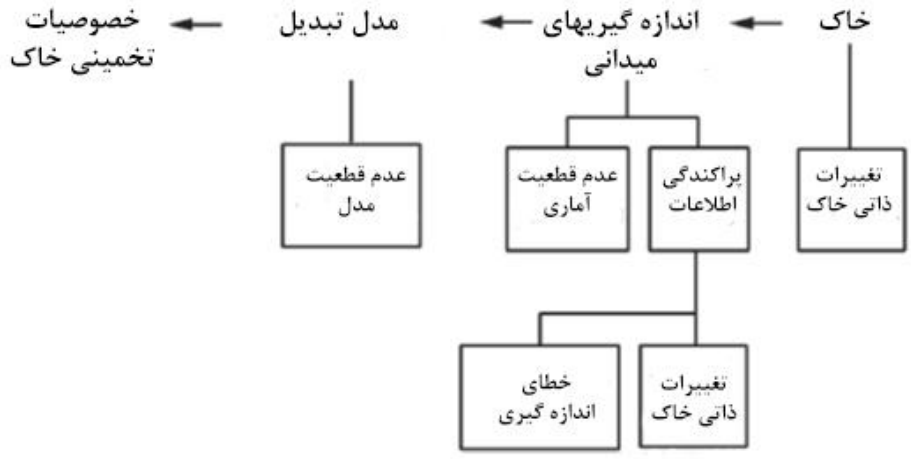
ت-۲ ارائه عدم‌قطعیت پارامترهای طراحی ژئوتکنیک

ت-۲-۱ برآورد پارامترهای طراحی ژئوتکنیک

ضریب تغییرات پارامتر طراحی ژئوتکنیک ، یک مشخصه آماری ذاتی نیست و به شرایط زمین، روش اندازه‌گیری و مدل تبدیل(همبستگی)، بستگی دارد. از این رو ضریب تغییرات به جای یک مقدار واحد، محدوده‌ای از مقادیر را در بر می‌گیرد. بعضی دستورالعمل‌ها برای ضریب تغییرات در پارامترهای رایج طراحی همانند نوع خاک، روش اندازه‌گیری و مدل تبدیل در زیر آمده است.

ت-۲-۲ منابع عدم قطعیت

همان گونه که در شکل ت-۱ نشان داده شده است، کل عدم‌قطعیت یک پارامتر طراحی ژئوتکنیک، از منابع مختلف عدم‌قطعیت حاصل می‌شود. سه منبع اصلی عدم‌قطعیت ژئوتکنیک وجود دارد : (۱) تغییرات ذاتی (۲) خطای اندازه‌گیری (۳) عدم‌قطعیت تبدیل. اولین مورد که اصولا ناشی از فرآیندهای طبیعی زمین‌شناسی است که توده های خاک را ایجاد کرده و دائما تغییر می‌دهند. دومین مورد در اثر تجهیزات، فرایند یا کاربر و تاثیرات اتفاقی آزمون ایجاد می‌شود و سومین منبع عدم‌قطعیت عنوان شده زمانی رخ می دهد که اندازه‌گیری های میدانی و آزمایشگاهی از طریق مدل های تجربی یا همبسته به پارامترهای طراحی تبدیل می‌شوند.



شکل ت-۱ - منابع عدم‌قطعیت ، که در عدم‌قطعیت کلی پارامتر طراحی ژئوتکنیک ، نقش دارند.

منابع مختلف عدم‌قطعیت، باید به طور جداگانه ، به عنوان ورودی مشخص شوند تا عدم‌قطعیت کل ، بدست آید. استفاده از ضرایب تغییرات بر اساس تحلیل تغییرپذیری کل که عموما در سوابق گزارش شده، می‌تواند

منجر به دست بالا برآورد کردن عدم‌قطعیت می‌شود. دلیل ایجاد این امر، موارد زیر هستند: (۱) اطلاعات خاک از واحدهای مختلف زمین شناسی مخلوط شوند، (۲) تجهیزات و فرایندهای کنترل، معمولا کافی نیستند، (۳) انحرافات قطعی در اطلاعات خاک حذف نشده اند، (۴) اطلاعات خاک در یک دوره طولانی گرفته شده باشند.

ت-۲-۳ تغییرات ذاتی

تغییرات مکانی می‌تواند به یک تابع با شیب ملایم و یک مولفه نوسانی تجزیه شود. کمی‌سازی آن می‌تواند توسط مدل سازی مولفه نوسانی به عنوان یک تابع اتفاقی همگن انجام‌شود. همانگونه که در زیربند ت-۲-۷ بحث شد، مقیاس نوسانات نیز از اهمیت برخوردار است.

ت-۲-۴ خطای اندازه‌گیری

تاثیر تجهیزات بر خطای اندازه‌گیری به دلیل عدم دقت دستگاه های اندازه‌گیری و تغییرات هندسه تجهیزات و سامانه های به کار گرفته شده برای آزمایش های معمول است. تاثیرات فرایندی کاربر، از محدودیت استانداردهای آزمون و چگونگی پیروی از آن‌ها، نشات می‌گیرد. خطاهای اتفاقی آزمایش ، به باقی‌مانده در نتایج آزمایش برمی‌گردد. خطای اندازه‌گیری، از اندازه‌گیری‌های میدانی با استفاده از مدل‌های احتمالاتی اضافه، استخراج می‌شود و یا مستقیما از نتایج آزمونهای آزمایشگاهی مقایسه‌ای ، تعیین می‌گردد.

ت-۲-۵ تبدیل عدم قطعیت

برای مرتبط کردن اندازه‌گیری‌های آزمونها به ویژگی های مناسب طراحی، نیاز به مدل‌های تبدیلی است. طرح عدم‌قطعیت به این دلیل است که اکثر مدل‌های تبدیل در مهندسی ژئوتکنیک، از منطبق‌سازی اطلاعات تجربی و نیمه تجربی به دست می‌آید.

ارزیابی مدل انتقال معمولا توسط تحلیل رگرسیونی و پراکندگی داده‌ها حول منحنی رگرسیون به عنوان یک متغیر تصادفی با متوسط صفر (ε) مدل می‌شود. انحراف معیار ε، شاخصی از اندازه عدم‌قطعیت تبدیل است.

اکثر مدل‌های تبدیل برای نوع خاصی از مصالح خاکی و یا منطقه‌ای مشخص توسعه یافته‌اند. مدل‌های دارای ساختگاه مشخص، معمولا دقیق‌تر از مدل‌های عمومی (مدل‌های کلی) هستند که ساختگاه‌های بیشتری را پوشش می‌دهند.

استفاده از مدل‌های مخصوص ساختگاه، برای ساختگاه متفاوت، می تواند به عدم دقت قابل ملاحظه‌ای بیانجامد. محدودیت "مخصوص ساختگاه" یک ویژگی متمایز و شایع در کاربرد مهندسی ژئوتکنیک است. طرح بر مبنای قابلیت‌اعتماد ژئوتکنیکی باید این محدودیت ها را شناسایی کند تا از ساده سازی بیش از حد واقعیت‌ها جلوگیری شود.

ت-۲-۶ عدم‌قطعیت کل

عدم‌قطعیت کل شامل ترکیبی از تغییرات ذاتی خاک ، خطای اندازه‌گیری و عدم‌قطعیت تبدیل است. این اجزا می‌توانند با استفاده از روش ممان دوم احتمالات ساده یا توسط متدهای پیچیده تر تحلیل عدم‌قطعیت با هم ترکیب شوند. در هنگام تعیین ضریب تغییرات کل، پارامتر مشخصه طراحی که یک حالت حدی خاص را کنترل می کند باید مشخص شود.

برای مسائل حالت حدی نهایی، پارامتر مشخصه طراحی، معمولا تاب میانگین مکانی روی بحرانی‌ترین مسیر زوال است. در صورت تغییر نسبت به مکان، ضریب تغییرات تاب میانگین مکانی، کوچکتر از ضریب تغییرات تاب نقطه‌ای است؛ درجه کاهش ضریب تغییرات، تابعی از مقیاس نوسانات است که در زیربند ت-۲ در مورد آن بحث شد. زمانی که کاهش ضریب تغییرات قابل توجه است ، استفاده از ضریب تغییرات نقطه‌ای، مناسب نیست به این دلیل که مقیاس نوسانات، به نسبت برخی مقیاس‌های مشخصه طول مسیر زوال (برای مثال ارتفاع شیب ، قطر تونل ، عمق خاک‌برداری) کم است. درعوض، روش المان محدود اتفاقی می تواند برای تحلیل حالت حدی نهایی استفاده شود که در آن ، میدان‌های تصادفی با عناصر محدود متمایز، در چارچوب مونت کارلو، ترکیب می‌شوند.

فقط باید توجه داشت که اختصاص یک مقدار معرفه به یک پارامتر طراحی ژئوتکنیک ، واقع بینانه نیست. برای مثال ضریب تغییرات ۳۰ درصد برای تاب برشی زهکشی نشده می‌تواند برای اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی با کیفیت بالا، یا رابطه مستقیم اندازه‌گیری‌های میدانی (همانند آزمایش نفوذ مخروط) مناسب باشد. ولی برای رابطه غیر مستقیم که بر پایه آزمون نفوذ استاندارد هستند ، مناسب نیست. تاثیر عملی این مشاهده این است که واسنجی یک ضریب جزئی یا مقاومت منفرد برای اعمال در چارچوب ساده‌سازی طرح بر مبنای قابلیت‌اعتماد چندان واقع‌بینانه بنظر نمی‌رسد.

ت-۲-۷ مقیاس نوسانات

تجزیه تغییرات مکانی، به یک شیب با تغییرات ملایم $t(z)$ و یک مولفه نوسان $w(z)$ براساس زیربند ت-۲-۳ در شکل ت-۲ نشان داده‌شده است. جالب توجه است که یک لایه خاک همگن از نظر فیزیکی، الزاما از نظر آماری همگن نیست. یک پارامتر مهم آماری که تغییرات ذاتی را توصیف می کند، مسافت ارتباط یا مقیاس نوسان است. مقیاس نوسان، شاخص فاصله‌ای است که مقادیر یک خاصیت درون آن، رابطه نسبتا قدرتمندی نشان می دهند.

یادآوری- تعیین مقیاس نوسان با یک روش ساده ولی تقریبی ، در شکل ت-۲ نمایش داده شده است.

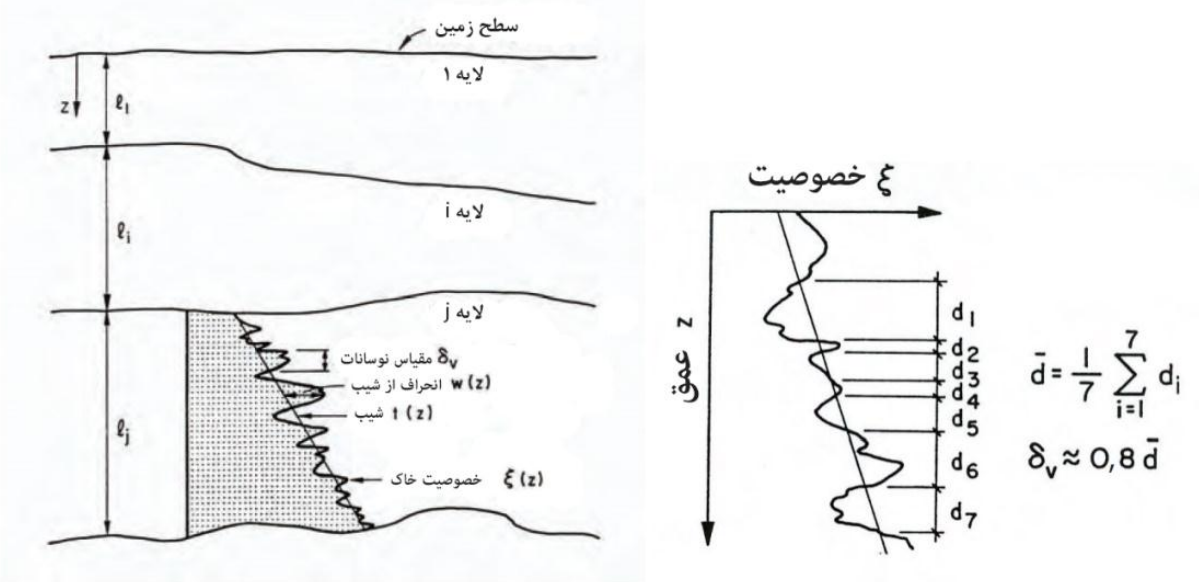
اهمیت عملی در نظر گرفتن مقدار معقولی برای مقیاس نوسان در تخمین ضریب تغییرات، مثل تغییرات مکانی واقع گرایانه ، در زیربند ت-۲-۶ برجسته شده است. فرض عدم وابستگی پارامترهای خاک، کاهش غیرمحافظه‌کارانه‌ای در ضریب تغییرات نقطه‌ای برای میانگین مکانی ایجاد خواهد نمود. فرض پارامترهای کاملا وابسته، باعث کاهش ضریب تغییرات برای میانگین مکانی نشده و بنابراین بیش از حد محافظه‌کارانه است. علاوه بر کاهش ضریب تغییرات، باید خاطرنشان کرد که مکانیسم‌های زوال نیز با تغییرات مکانی ارتباط دارند.

ت-۳ تعیین مشخصات داده‌های ژئوتکنیک بصورت آماری

ت-۳-۱ کلیات

در بررسی‌های میدانی معمولا اطلاعات چندمتغیره موجود است. از آنجا که ارتباط دو متغیره بین پارامترهای خاک بیشتر وجوددارد، مانند *su*-*N* و *su*-OCR، در صورت وجود عدم‌قطعیت تبدیل، توزیع نرمال چندمتغیره یک روش معقول و عملی برای بدست آوردن وابستگی چند متغیره بین پارامترهای خاک است. اهمیت عملی در نظر گرفتن داده‌های چند متغیره، کاهش ضریب تغییرات پارامترهای طراحی با برآورد آن‌ها

با بیش از یک پارامتر است. از این رو مطالعات ساختگاه، سرمایه‌گذاری است و نه هزینه، چراکه کاهش عدم‌قطعیت از طریق آزمون‌های چند متغیره، می‌تواند مستقیما منجر به صرفه‌جویی در طرح از طریق طراحی برمبنای قابلیت‌اعتماد بشود. این ارتباط مهم بین کیفیت/ کمیت مطالعات میدانی و صرفه جویی در طرح، نمی‌تواند به صورت سامانه‌ای در یک رویکرد قطعی طراحی تعیین شود.



شکل ت- ۲- مدل میدانی اتفاقی برای تغییرات ذاتی خاک

یادآوری - اصلاح شده از مطالعات فون و کالهاوی سال ۱۹۹۹(Phoon and Kulhawy 1999a)

ت-۴ تعیین مشخصات ضرائب مدل بصورت آماری

ت-۴-۱ کلیات

عدم‌قطعیت مدل از نواقص مدل‌های تحلیلی پیش‌بینی رفتارهای مهندسی، سرچشمه می‌گیرد. مدل‌سازی ریاضی هر فرآیند فیزیکی ، معمولا برای تبدیل به یک مدل قابل استفاده ، به ساده سازی نیاز دارد. بنابراین مدلهای حاصل، ساده سازی پدیده های پیچیده دنیای واقعی هستند. به تبع آن، حتی اگر ورودی های مدل با قطعیت مشخص باشد، عدم‌قطعیت در پیش‌بینی مدل وجوددارد. آخرین وضعیت موجود در توسعه آمار عدم‌قطعیت مدل در زمینه های مختلف، از جمله مهندسی ژئوتکنیک، شامل مقایسه عملکرد پیش‌بینی شده و عملکرد اندازه‌گیری شده است.

عدم‌قطعیت مدل، معمولا در چارچوب ضریب مدل ارائه می‌شود. ضرائب مدل ، باید برای سازه‌های متفاوت ژئوتکنیک از جمله پی های سطحی، پی‌های شمعی ، سازه‌های نگهدارنده، شیب ها و غیره مشخص شوند. ضریب مدل برای شرایط به مجموعه شرایط خاص اعمال می‌شود(برای مثال مد زوال، مدل محاسباتی، شرایط و تجربه محلی و غیره). بنابراین فراوانی فاکتورهای مدل دور از انتظار نیست.

ضریب مدل معمولا به عنوان نسبتی از ظرفیت اندازه‌گیری شده به ظرفیت محاسباتی مشخص می‌شود.

$$M = \frac{Q_m}{Q_p} \qquad (ت-۱)$$

که در آن :

Q_m ظرفیت اندازه‌گیری شده است که توسط آزمون بار به دست آمده است.

Q_p ظرفیتی است که معمولا با استفاده از مدل‌های تعادل حدی پیش‌بینی می‌شود.

M ضریب مدل است.

امار مدل استحکام، تنها با استفاده از روش‌های زیر قابل ارزیابی هستند: (۱) آزمون‌های نمونه اولیه در مقیاس بزرگ، (۲) پایگاه داده بزرگ و معرف، (۳) آزمون‌های با کیفیت بالا زمانی که عدم‌قطعیت های خارجی و فرعی به خوبی کنترل می‌شوند. با استثنای احتمالی پی‌ها، در بسیاری از مدل‌های محاسباتی ژئوتکنیک داده‌های کافی آزمایشگاهی، برای ارزیابی دقیق آماری خطای مدل در اختیار نیست.

ت-۵ مشکلات پیاده سازی در طراحی قابل اطمینان ژئوتکنیک

ت-۵-۱ کلیات

اصول کلی این استاندارد، برای طراحی ژئوتکنیک بر مبنای قابلیت‌اعتماد نیز قابل اعمال است. با استفاده از روش‌های حالت حدی که در فصل ۵ به آن اشاره گردید، می‌توان به ترازهای مناسب عملکرد برای سازه‌های ژئوتکنیک، دست‌یافت. این کار می‌تواند از تراز مبتنی بر ریسک (ارائه شده در بند ۷)، تراز قابلیت‌اعتماد (ارائه شده در بند ۸)، یا طراحی نیمه احتمالاتی (ارائه شده در بند ۹) انجام شود. عدم‌قطعیت ژئوتکنیک ، می تواند بر پایه اصولی که در بند ۶ به آن اشاره شد، ارائه شود.

ت-۵-۲ اهداف و چالش‌ها

هدف اصلی در طرح بر مبنای قابلیت‌اعتماد ژئوتکنیکی، دستیابی به تراز یکنواخت‌تر از قابلیت‌اعتمادی طراحی موجود به روش تنش مجاز است. با توجه به رویکرد نیمه احتمالاتی، روشن شدن این نکته مهم است که کالیبراسیون قابلیت‌اعتماد در مهندسی ژئوتکنیک ، چالش برانگیزتر باشد. یکی از دلایل اصلی، تنوع سناریوهای طراحی است که باید در دامنه کالیبراسیون لحاظ شود، مثل محدوده نتیجه ضریب تغییرات خاک‌های مختلف،که می تواند ناشی از روش‌های برآورد خصوصیت خاک باشد. یک منبع دیگر تنوع، تعداد نیمرخ‌های متفاوت خاک در یک محله شهری است.

در این بخش، به چالش ایجاد طرح ژئوتکنیک بر مبنای قابلیت‌اعتماد بنحوی که هم واقع بینانه(بتواند محدوده وسیعی از سناریو های طراحی را شامل شود) و هم دقیق(شاخص قابلیت‌اعتماد هدف را با دقت مناسبی حاصل نماید) باشد پرداخته شده است. برخی جزئیات بهره‌گیری مربوط به تصمیم‌گیری بر مبنای احتمال(مانند طرح مستقیم بر مبنای احتمال، اهداف قابلیت‌اعتماد و قابلیت‌اعتماد سامانه در بند ۸) و روش‌های نیمه احتمالاتی(مانند روش‌های ضریب جزئی و مقادیر مشخصه در بند ۹) در ادامه مورد بحث قرارگرفته است.

ت-۵-۳ روش طراحی بر مبنای قابلیت‌اعتماد

طراحی بر مبنای قابلیت‌اعتماد، خصوصا برای ارائه بسیاری از شرایط، مدهای زوال و برای عدم‌قطعیت‌هایی که در طرح‌های ژئوتکنیک یافت می‌شود ، مناسب است. طراحی بر مبنای قابلیت‌اعتماد (بند ۸) می‌تواند مستقیما در کاربردهای ژئوتکنیک اعمال شود. اطلاعات ورودی لازم برای تحلیل قابلیت‌اعتماد ، توزیع احتمال پارامترهای خاک و بارها است. تشخیص توزیع احتمال مناسب و انتخاب پارامترهای مدل مناسب

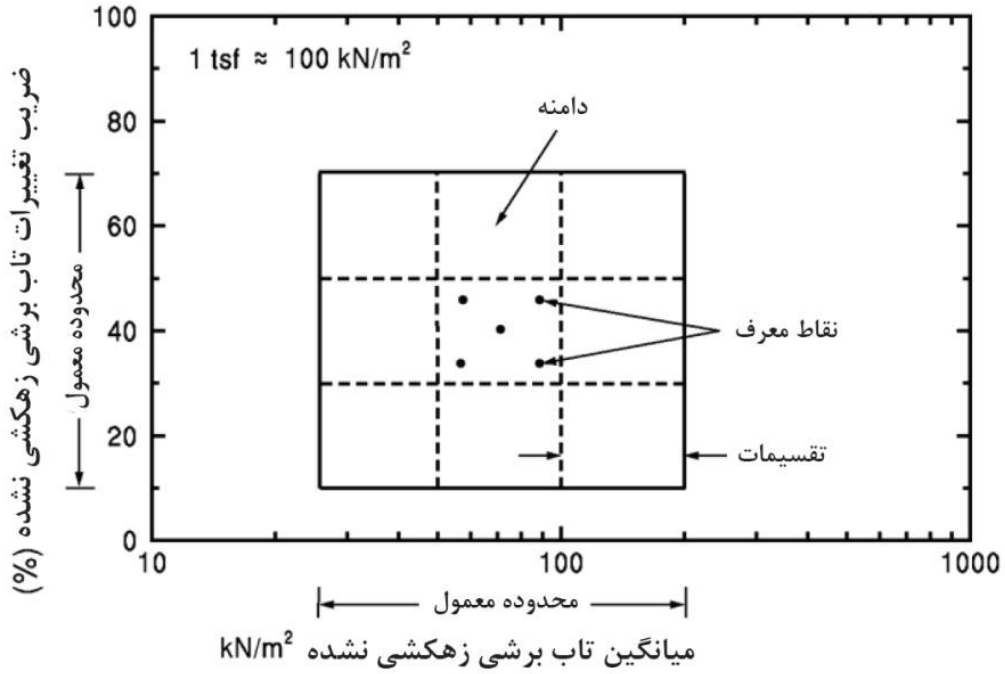
برای این توزیع‌ها (برای مثال میانگین و ضریب تغییرات) از داده های محدود، مرتبط با عدم‌قطعیت آماری است.

ت-۵-۴ روش نیمه احتمالاتی

به واسطه ملاحظات عملی ، طراحی بر مبنای قابلیت‌اعتماد ژئوتکنیکی، معمولا در سطح ساده شده روش نیمه احتمالاتی یا به طور مشخص‌تر روش ضرائب جزئی استفاده می‌شود (زیربند ۹-۴-۲). یک ویژگی متمایز در طراحی ژئوتکنیک، این است که بسیاری از مدل‌های محاسباتی، نسبتا "ساده" هستند و به دلیل ماهیت تجربی اندوخته ژئوتکنیک ما، معمولا مدل‌های محاسباتی متفاوت زیادی برای یک مسئله طراحی وجود دارد. در فرایند واسنجی، توصیه می شود "بهترین" مدل‌های ژئوتکنیک محاسباتی(قطعی) ، مستقیما استفاده شوند.

بهتر است برای واسنجی قابلیت‌اعتماد، "بهترین" روش محاسباتی (با حداقل انحراف و تغییرپذیری را در مقایسه با اندازه‌گیری‌های میدانی یا آزمون‌های آزمایشگاهی / شبیه سازی عددی در نبود اندازه‌گیری‌های میدانی) انتخاب نمود. با این وجود در مهندسی ژئوتکنیک ، بهتر است به تجربیات محلی توجه نمود، چرا که رفتار مصالح سنگی و تجارب طرح/اجرا تا حد زیادی وابسته به ساختگاه هستند. از این رو ، واقع‌گرایانه ترین تعریف "بهترین" مدل، آن مدلی است که دارای بهترین تجربه محلی است. نتیجه اینکه ، امکان پذیر نیست الزام کرد که یک مدل فیزیکی تک (مثلا متدCPT) یا یک مدل احتمالاتی (برای مثال متمرکزکردن کل ظرفیت در یک متغیر با توزیع لگاریتمی نرمال) یا یک فرایند واسنجی طرح بر مبنای قابلیت‌اعتماد ژئوتکنیکی، آنقدر کلی باشد که تنوع موجود در شیوه‌های محلی را شامل باشد. تنها الزام اجباری در واسنجی طرح بر مبنای قابلیت‌اعتماد، این است که انحراف مدل بهتر است با روش‌های تخمینی کمی سازی شود.

به دلیل بزرگ بودن ضریب تغییرات برای پارامترهای طراحی ژئوتکنیک (به بند ت-۲ مراجعه شود) معقول است که محدوده یک پارامتر تاثیرگذار طرح و تغییرپذیری آن را به چند بخش یا دامنه تقسیم شود(به بند ت-۳ مراجعه شود). نقاط واسنجی در هر بخش یا دامنه را می‌توان انتخاب کرد تا از پوشش یکنواخت متغیرها در طول فرآیند واسنجی و دستیابی به ریسک طرح سازگار در محدوده پارامترهای ورودی و تغییرات آن‌ها، اطمینان حاصل نمود.



شکل ت-۳- تقسیم بندی فضای پارامتر برای واسنجی ضرائب مقاومت

ت-۵-۵ مقدار مشخصه

مفهوم "مقدار مشخصه" ذاتا مربوط به چارچوب‌های نیمه احتمالاتی و خصوصا روش ضرائب جزئی است. در این رویکرد، با استفاده از حالت حدی نهایی، برای مثال ، یک مقدار مشخصه برای یک پارامتر خاک (به عنوان مثال مقاومت برشی زهکشی نشده) بر یک ضریب جزئی تاب، تقسیم شده است تا یک مقدار "طرح" ایجاد کند و ظرفیت ژئوتکنیکی بر پایه این مقدار طرح، باید بزرگتر از بار طراحی (بار مشخصه ضربدر ضریب بار) باشد.

پارامتر خاک بهتر است به گونه ای تعریف شود که با معادله حالت حدی مرتبط باشد. برای مثال اگر یک پارامتر مقاومت برشی زهکشی نشده در معادله پایداری شیب ظاهر شود ، آنگاه تعریف فیزیکی مربوطه، میانگین مکانی در امتداد بحرانی ترین مسیر شکست است. که این نه تاب برشی زهکشی نشده در یک نقطه از توده خاک و نه میانگین مکانی در امتداد یک خط از پیش تعیین شده در توده خاک است. در متون ژئوتکنیکی، تاکید بر واضح نمودن این جنبه فیزیکی مقدار مشخصه است، که بطور منطقی اینگونه است.

لازم است که معنی فیزیکی پارامتر مشخصه خاک قبل از اینکه موضوع عدم‌قطعیت بصورت مستدلی لحاظ شود، روشن شود. برای تشریح مطلب، تاب برشی زهکشی نشده مشخصه برای اصطکاک بدنه شمع، میانگین مکانی در طول شمع است در حالیکه تاب برشی زهکشی نشده مشخصه برای مقاومت انتهایی شمع میانگین مکانی حباب تنش خاک زیر نوک شمع است. پس از آنکه تحلیل قابلیت‌اعتماد صورت پذیرفت، تابع عملکرد شامل دو متغیر اتفاقی و بدنبال آن دو توزیع احتمال متمایز برای میانگین مکانی است.

زمانیکه طرح نیمه احتمالاتی انجام شد، احتمالا لازم است یک مقدار مشخصه هر توزیع احتمالاتی انتخاب شود. این مقدار می‌توانند به میانگین یا چندک زیر ۵ درصد برگردد. تخمین آماری این مقادیر مشخصه تحت تاثیر عدم‌قطعیت‌های آماری یکسان با توزیع احتمال موجود در تحلیل قابلیت‌اعتماد است. واضح است که این جنبه آماری مقدار مشخصه با جنبه فیزیکی مقدار مشخصه متمایز است.

در اصل، ضرائب جزئی را میتوان بنحوی واسنجی کرد تا یک شاخص قابلیت‌اعتماد هدف از پیش تعیین شده را برای هر توزیع آماری مقدار مشخصه حاصل نمایند. در عمل، میدانیم که ضریب جزئی واسنجی شده برای مقدار میانگین می تواند با تغییر ضریب تغییرات متغیر اتفاقی ورودی به میزان قابل توجهی دستخوش تغییر شود. بنابراین، چنانچه ضریب تغییرات متغیر اتفاقی در محدوده وسیعی تغییر می کند و در عمل نیاز به ساده سازی یک ضریب جزئی بصورت یک عدد بجای تابعی از ضریب تغییرات است، چندک ۵ درصد پائین مرجح است (باستثنا مواردی که پاسخ غیرخطی لحاظ شده و ملاحظات خاص باید صورت پذیرد).

مفید فایده است که تکرار کنیم عملکرد کلیدی آئین‌نامه طرح بر مبنای قابلیت‌اعتماد دستیابی به شاخص قابلیت‌اعتماد هدف از پیش تعیین شده (معمولا تابعی از حالت حدی و اهمیت سازه) بر محدوده سناریوهای طرحی که معمولا با آن‌ها روبرو هستیم میباشد و نه فقط یک سناریوی طرح مشخص. تعریف آماری مقدار مشخصه، بجای تبعیت از موارد گذشته یا یک جزء جدا از واسنجی قابلیت اعتماد، باید در زمینه‌ای وسیع تر یعنی آنچه یک طرح برمبنای قابلیت‌اعتماد در نظر دارد به آن دست پیداکند، دیده‌شود. به عبارت دیگر، یک طرح توسط مقادیر طرح تولید می‌شود که خود حاصلضرب ضرائب جزئی/مقاومت در مقادیر مشخصه است و نه فقط خود مقادیر مشخصه. در اینجا نگرانی های عملی در این موارد وجود دارد: (۱) تخمین کمیت های قابل اطمینان از اطلاعات محدود و (۲) مقادیری که در اثر انتخاب نامناسب توابع توزیع احتمالاتی نامحدود، پائین تر از مرز پائین شناخته شده قرارمی‌گیرند (مانند زاویه اصطکاک پسماند). به هر حال هردو مورد فوق، فقط مقادیر مشخصه را متاثر نمی‌کنند بلکه اساسا تحلیل قابلیت‌اعتماد تحت واسنجی آئین‌نامه را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهند.

ت-۵-۶ طرح بر مبنای چندک

مشخص شده است که این روشهای واسنجی آئین‌نامه می‌توانند مشکل باشند چراکه ضریب تغییرات پارامترهای طرح ژئوتکنیکی و ضرائب مدل ثابت نبوده و در محدوده وسیعی تغییر می‌کنند(بندهای ت-۲ و ت-۴)، که قطعه‌بندی دامنه واسنجی به صورتی که در زیربند ت-۵-۳ تشریح شد را ایجاب می‌کنند. در مسائل طرح ژئوتکنیکی با ضریب تغییرات متغیر، هرچند ممکن نیست که به شاخص قابلیت‌اعتماد هدف یکنواخت با ضرائب جزئی ثابت دست یافت اما ممکن است بتوان این یکنواختی را با چندک‌های مشخص بدست آورد.

ت-۵-۷ قابلیت‌اعتماد سامانه

از آنجا که اکثر سازه های ژئوتکنیکی چندین مد زوال دارند، اکثر طرح‌های برمبنای قابلیت‌اعتماد ژئوتکنیکی در حقیقت مسائل قابلیت‌اعتماد سامانه هستند(۸-۳). برای مثال، یک دیوار حائل وزنی ساده حداقل سه مد زوال دارد: لغزش افقی در طول پایه دیوار، واژگونی یا چرخش حول پاشنه دیوار و زوال در اثر ظرفیت باربری خاک زیر دیوار. این مدهای زوال تمایل به اندرکنش با یکدیگر دارند چرا که بارها و ظرفیت ها در مدهای

مختلف زوال می‌توانند همبسته باشند. برای مثال درنظر بگیرید که وزن دیوار حائل وزنی، که منبع اصلی ظرفیت مقاومت در مقابل مدهای زوال لغزش و واژگونی است، خود منبع اصلی بار برای مد زوال ظرفیت باربری است.

یک پی شمعی سامانه ای از شمع‌هایی است که شامل چند گروه شمع است و هرگروه شامل چند شمع منفرد. برآورد قابلیت‌اعتماد سامانه شمع مستلزم درنظر گرفتن قابلیت‌اعتماد تک تک شمع ها، اثر گروه شمع و اثرات سامانه ای ناشی از اندرکنش‌های سازه فوقانی شمع ها است.

بسیاری از سازه های ژئوتکنیکی در خاک اطراف خود، مکانیسم‌های زوال در حالت حدی نهایی ایجاد می‌کنند(مانند شیب ها، تونل ها، خاکبرداری های عمیق). هر سطح بالقوه لغزش در خاک یک مد زوال است. احتمال زوال مربوط به "محتمل ترین" مد زوال که توسط روشهای درجه اول قابلیت‌اعتماد(FORM) مشخص می‌شود، تنها یک مرز پائین برای احتمال زوال سامانه ارائه می‌کند. برخلاف فونداسیون شمعی که سطح لغزش اکثرا به سطح تماس خاک و شمع محدود شده است، مسیر سطح لغزش با تحققی خاص از میدان اتفاقی متصل شده است و تنها با استفاده از روش المان محدود یا روشهای عددی مشابه قابل تعیین است. این رده از مسائل قابلیت‌اعتماد سامانه، بعلت اتصال بین تغییرات مکانی و مکانیک پیچیده هستند اما در مهندسی ژئوتکنیک غیرمعمول نیستند.

پیوست ث
(آگاهی‌دهنده)
واسنجی آئین‌نامه

ث-۱ مقدمه

در تدوین آئین‌نامه‌های جدید یا تجدیدنظر آئین‌نامه‌های موجود، عموما واسنجی مورد نیاز است. واسنجی به تعیین مقادیر تمامی پارامترها در چارچوب آئین‌نامه موردنظر برمی‌گردد. واسنجی آئین‌نامه می‌تواند از طریق قضاوت، منطبق سازی، بهینه‌سازی یا ترکیب این موارد انجام شود. دراین پیوست رویکرد واسنجی توضیح داده شده است . روش توضیح داده شده در اینجا به روشنی پایه در اصول قابلیت‌اعتماد سازه‌ها دارد، که دراین نوشته تشریح شده است.

ث-۲ مدل‌های احتمالاتی برای بر سنجش

مدل‌های احتمالاتی برای متغیرهای پایه اتفاقی باید با دقت بسیار انتخاب شوند. دستورالعمل انتخاب را می‌توان در آئین‌نامه مدل احتمالاتی JCSS یافت، به طور کلی توصیه‌های اصلی زیر را می‌توان به کارگرفت.

متغیرهای تاب یا مقاومت اغلب با توزیع لاگ-نرمال مدل می‌شوند. این کار موجب جلوگیری از تحقق احتمالی مقدار منفی است. در برخی موارد توزیع ویبِل را نیز میتوان برای خصوصیات مصالح در نظرگرفت. این مورد خصوصا زمانی صدق می‌کند که تردی، اثرات اندازه و نقص مصالح کنترل کننده تاب باشد. ضریب تغییرات با توجه به مصالح موردنظر تغییر می‌کند . مقادیر معمول برای فولاد و میلگرد ۵ درصد ، برای مقاومت فشاری بتن ۱۵درصد و برای مقاومت خمشی چوب ساختمانی ۱۵ تا ۲۰ درصد است. به طور کلی مقدار مشخصه ۵ درصد چندک انتخاب می‌شود .

بارهای متغیر(اعمالی و محیطی) می‌توانند به روش‌های مختلف مدل شوند. ساده‌ترین راه استفاده از متغیر احتمالاتی برای مدل‌سازی یشترین بار در دوره مرجع است (اغلب یک سال). این متغیر معمولا توسط یک توزیع حد نهایی مانند توزیع گامبل مدل می‌شود. ضریب تغییرات معمولا در محدوده ۲۰ تا ۴۰ درصد است ولی برای بار لرزه‌ای می‌تواند خیلی بیشتر باشد. مقدار مشخصه می‌تواند چندک ۹۸ درصد در تابع توزیع برای حداکثر بار سالانه انتخاب شود.

معمولا بارهای دائمی از آنجا که می‌توانند حاصل بخش‌های مختلف بسیاری باشند، با یک توزیع نرمال مدل می‌شوند. ضریب تغییرات معمولا ۵ الی ۱۰ درصد و مقدار مشخصه ۵۰ درصد چندک انتخاب می‌شود. ضریب تغییرات معمولا بین ۵ تا ۱۰ درصد است و مقدار مشخصه به عنوان چندک ۵۰ درصد انتخاب می‌شود.

عدم‌قطعیت‌های مدل در بسیاری از موارد در صورتی که به عنوان متغیرهای اتفاقی فزاینده هندسی مطرح شوند، با توزیع لاگ-نرمال مدل می‌شوند و چنانچه به عنوان متغیرهای اتفاقی فزاینده حسابی عنوان گردند، با توزیع نرمال مدل می‌شوند. مقادیر معمول برای ضریب تغییرات ۳ الی ۱۵ درصد است اما باید با دقت انتخاب شود. عموما مقدار مشخصه چندک ۵۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.

ث-۳ واسنجی آئین‌نامه به عنوان مساله بهینه سازی

در نهایت آئین‌نامه‌های طراحی سازه به منظور فراهم آوردن یک مبنای ساده، ایمن و دارای صرفه اقتصادی برای طراحی سازه‌های معمول تحت بارگذاری عادی، عملیاتی و شرایط محیطی ایجاد شده‌اند. در نتیجه آئین‌نامه‌های طراحی نه تنها تا حدزیادی کار روزانه مهندسی سازه را آسان می‌کنند بلکه وسیله‌ای برای اطمینان از استانداردسازی مشخص در فرایند مهندسی سازه تامین می‌کنند که نهایتا موجب افزایش استفاده بهینه از منابع اجتماع و منافع افراد است.

بنابراین واسنجی آئین‌نامه می‌تواند به عنوان بهینه‌سازی تصمیمات دیده شود و انتظار می‌رود سود خالص اجتماعی با بهینه‌سازی پارامترهای آئین‌نامه طراحی به حداکثر برسد. تمام مزایای مربوطه و عواقب مرتبط با سازه‌ها باید در نظر گرفته شوند. به طور مثال منافع کلی جامعه، هزینه اجرا، هزینه‌های نگهداری در طول عمر طرح و هزینه‌های زوال. دراصل، قابلیت‌اعتمادهای هدف نیز می‌توانند دراین فرمول بهینه شوند. هرچند بیشتر اوقات، تدوین یک تابع هدف رضایت‌بخش با در نظر گرفتن تمام منافع و عواقبی که در طول عمر سازه به وجود می‌آیند، مشکل است. خصوصا چگونگی در نظر گرفتن هزینه‌ها و منافع غیرمالی و همچنین ایمنی جانی در تابع هدف قابل بحث است (به پیوست چ مراجعه شود).

به همین دلیل رویکردهای عملی و اجرایی‌تر توصیه می‌گردد. یکی از این روش‌ها در ادامه توضیح داده شده‌است. این رویکرد براساس بهینه‌سازی مبتنی بر قابلیت‌اعتماد است ودر مبحث کالیبراسیون آئین‌نامه برای چارچوب‌های طراحی نیمه احتمالاتی توضیح داده شده است .

ث-۴ بهینه‌سازی آئین‌نامه مبتنی بر قابلیت‌اعتماد

ث-۴-۱ معادلات طرح و توابع حالت حدی

قبل از توضیح روش واسنجی آئین‌نامه بر مبنای قابلیت‌اعتماد، ارتباط بین معادلات طراحی در یک آئین‌نامه طراحی نیمه احتمالاتی و توابع حالت حدی ارائه شده است. تابع حالت حدی مربوط به مدهای زوال تکی به صورت زیر نوشته شده است:

$$g_j(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{p}_j, \boldsymbol{z}) = 0 \qquad (ث-۱)$$

که در آن :

x مقدار مشاهده شده متغیر های اتفاقی پایه X است.

pj یک بردار از پارامترهای قطعی است.

z مجموعه‌ای از متغیر های طرح است.

ناحیه کاربرد این آئین‌نامه توسط مجموعه I از L بردار مختلف $(\boldsymbol{p}_j, j = 1, \ldots, L)$ توصیف شده است. مجموعه I برای مثال می‌تواند شامل اشکال مختلف هندسی سازه ، پارامترهای مختلف متغیرهای اتفاقی و مدل‌های آماری مختلف برای متغیر های اتفاقی باشد . معادله قطعی طرح متناظر با تابع حالت حدی در فرمول ث-۱ اینگونه نوشته می‌شود :

$$G_j(\boldsymbol{x}_c, \boldsymbol{p}_j, \boldsymbol{z}, \gamma) \geq 0 \qquad (ث-۲)$$

که در آن :

xc برداری از مقادیر مشخصه متغیر های اتفاقی اساسی است.

γ بردار ضرایب جزئی است.

مجموعه ضرائب جزئی نباید فقط عدم‌قطعیت‌های طبیعی موثر بر تغییرپذیری اتفاقی ذاتی را لحاظ نمایند بلکه باید عدم‌قطعیت‌های آگاهی‌دهنده مربوطه را نیز درنظر بگیرند، مثل عدم‌قطعیت آماری توزیع بار و مقاومت و یا ناشی از ساده‌سازی‌هایی که در مدل بکارگرفته شده است.

ث-۴-۲ فرایند

ث-۴-۲-۱ مراحل

بهینه‌سازی آئین‌نامه به طور کلی طی مراحل زیر انجام می‌شود :

مرحله ۱ : تعریف دامنه آئین‌نامه،

مرحله ۲ : تعریف هدف آئین‌نامه،

مرحله ۳ : تعریف فرمت آئین‌نامه،

مرحله ۴ : شناسایی مدهای معمول زوال و مدل‌های احتمالاتی،

مرحله ۵ : تعریف مقیاس میزان دقت،

مرحله ۶ : تعیین ضرایب جزئی بهینه برای چارچوب انتخابی آئین‌نامه،

مرحله ۷ : آزمون و تعیین ضرایب جزئی.

ث-۴-۲-۲ مرحله ۱: تعریف دامنه آئین‌نامه

رده سازه و انواع مدهای زوال مرتبطی که مد نظر هستند، تعریف می‌شوند .

ث-۴-۲-۳ مرحله ۲: تعریف هدف آئین‌نامه

هدف آئین‌نامه را بسته به نوع استفاده و ویژگی‌های رده مورد نظر سازه، می‌توان با استفاده از شاخص‌های قابلیت‌اعتماد هدف یا احتمالات زوال هدف تعریف کرد. این کار را می‌توان با استفاده از شاخص‌های قابلیت‌اعتمادی که به طور ضمنی و صریحا در آئین‌نامه‌های موجود فرض شده و یا بر اساس ملاک‌های دیگر انجام داد، به طور مثال بر اساس مفهوم LQI (به پیوست چ مراجعه شود). در این صورت بهینه‌سازی آئین‌نامه صرفا به بهینه‌سازی ضرایب جزئی کاهش می‌یابد.[۱]

ث-۴-۲-۴ مرحله ۳: تعریف چارچوب آئین‌نامه

چارچوب آئین‌نامه شامل موارد زیر است: (۱) چه تعداد ضرایب جزئی و ضرایب ترکیب بار بهتر است استفاده شود. (۲) آیا ضرایب جزئی بار بهتر است مستقل از مصالح باشند. (۳) آیا ضرایب جزئی مصالح بهتر است مستقل از نوع بار باشند. (۴) چگونه از ضرایب جزئی در قواعد معادلات طراحی برای ترکیب بار استفاده شود. به طور کلی در استفاده عملی، تعداد ضرایب جزئی بهتر است کمترین حد ممکن بوده و تا حد ممکن عمومی باشند. از سوی دیگر برای به دستیابی به سازه‌های ایمن و اقتصادی در گستره وسیع انواع مختلف سازه‌ها، ضرایب جزئی بیشتری مورد نیاز است.

۱- در اینجا برای درنظر گرفتن عدم قطعیت در متغیرهای اتفاقی ، ضرایب جزئی باید به شیوه ای کلی به عنوان ضرائبی که در معادلات طراحی تعریف شده‌اند، تفسیر شوند.

ث-۴-۲-۵ مرحله ۴: شناسایی مدهای معمول زوال و مدل‌های احتمالاتی

در رده سازه مورد نظر آئین‌نامه، مدهای زوال معمول شناسایی می‌شوند. معادلات حالت حدی و معادلات طراحی فرموله شده و مدل‌های احتمالاتی برای پارامترهای معادلات حالت حدی انتخاب شده و تناوب انجام هر نوع کنترل ایمنی در آن نیز تعیین می‌شود.

ث-۴-۲-۶ مرحله ۵: تعریف مقیاس میزان دقت،

ضرایب جزئی γ به گونه‌ای واسنجی می‌شوند که شاخص‌های قابلیت‌اعتماد متناظر با L بردار مختلف $\boldsymbol{p}_j$ تا حد ممکن به قابلیت‌اعتماد هدف (β_{target}) نزدیکتر باشند. بنابراین مقیاس دقت به صورت زیر فرموله می‌شود:

$$\sum_{j=1}^{L} w_j(\beta_j(\gamma) - \beta_{target})^2 \qquad \text{(ث-۳)}$$

که در آن :

$\beta_j(\gamma)$ قابلیت‌اعتماد محقق شده متناظر با ضرایب جزئی داده شده γ است .

$w_j\ (j = 1,2,\dots,L)$ ضرائبی هستند که نشان دهنده تناوب نسبی نمود یا اهمیت موقعیت‌های مختلف طرح می‌باشند $(\sum_{j=1}^{L} w_j = 1)$.

به جای استفاده از شاخص‌های قابلیت‌اعتماد در رابطه (ث-۳)، می‌توان احتمال زوال را به کارگرفت. همچنین می‌توان از تابع هدف غیرخطی که به شاخص‌های قابلیت‌اعتماد کوچک تر از هدف در مقایسه با آن‌هایی که بزرگ تر از هدف هستند وزن نسبتا بیشتری می‌دهند، استفاده کرد. روابط فوق را به راحتی می‌توان گسترش داد تا حد پایین قابلیت‌اعتماد برای هر حالت زوال را شامل شوند.

ث-۴-۲-۷ مرحله ۶: تعیین ضرایب جزئی بهینه برای فرمت انتخابی آئین‌نامه

در این مرحله به این وسیله بهینه‌سازی فرموله شده است. مقیاس دقت، که با رابطه (ث-۳) تعریف شده است، نسبت به ضرایب جزئی γ کمینه شده است. ضرایب جزئی بهینه توسط راه حل عددی مساله بهینه‌سازی در مرحله ۵ به دست می‌آید .

در روند بهینه‌سازی، شاخص قابلیت‌اعتماد $\beta_j(\gamma)$ برای سناریوی طرح j مشخص با داشتن ضرایب جزئی γ از طریق دو مرحله زیر به دست می‌آید .

نخست، برای ضرایب جزئی γ معین، طراحی z^* تعریف می‌شود. اگر تعداد متغیرهای طراحی یک باشد طرح بهینه z^* می‌تواند به عنوان راه حل رابطه (ث-۲) تعیین شود. اگر تعداد متغیرهای طراحی بیشتر از یک باشد ، مسئله بهینه‌سازی متغیر های طراحی میتواند به روش زیر فرموله شود:

$$\begin{aligned} &min_z C(z) \\ &\text{براساس} \\ &c_i\left(x_c, p_j, z, \ ^3\right) = 0, \quad i = 1,2,\dots,m_e \\ &c_i\left(x_c, p_j, z, \ ^3\right) \geq 0, i = m_e+1,\dots,m \\ &z_i^l \leq z_i \leq z_i^u \qquad\qquad i = 1,2,\dots,N \end{aligned} \qquad \text{(ث-4)}$$

$C(z)$ یک تابع هدف است $ci\ (\ i\ =1,2,\ldots,m)$ محدودیت های آن می‌باشند. تابع هدف $C(z)$ که اغلب وزن سازه در نظر گرفته می‌شود. محدودیت های تساوی m_e در رابطه (ث-۴) می‌تواند برای مدل‌سازی الزامات طراحی (محدودیت درمقادیر هندسی) و ارتباط بار وارد بر سازه با واکنش آن (مثلا معادلات اجزای محدود) استفاده گردد. اغلب میتوان از محدودیت‌های تساوی اجتناب کرد، چراکه تحلیل سازه به طور مستقیم در تنظیم روابط نامساوی محدودیت‌ها گنجانده شده است. محدودیت‌های نامساوی در رابطه (ث-۴) تضمین می‌کند که مشخصه‌های واکنشی مانند جابجایی و تنش‌ها از مقادیر بحرانی مقرری که توسط رابطه طراحی (ث-۲) تعریف شده‌اند تجاوز نکند. همچنین محدودیت‌های نامساوی می‌توانند شامل الزامات کلی طراحی برای متغیرهای طرح باشند. کرانه‌ای بالا وپایین، z_i^u و z_i^l در رابطه (ث-۴) کرانه‌ای ساده هستند. N تعداد متغیرهای طراحی است . به طور کلی رابطه طراحی (ث-۲) غیرخطی و غیرمحدب است.

ثانیا، شاخص قابلیت‌اعتماد $\beta_j(\gamma)$ از طریق FORM/SORM یا شبیه‌سازی بر اساس تابع حالت حدی در رابطه (ث-۱)، با استفاده از طراحی z^* که به شکل فرموله شده در رابطه (ث-۴)به عنوان راه حلی برای مساله بهینه‌سازی متغیر طرح به دست آمده، تخمین زده می‌شود.

این دومرحله تا زمانی تکرار می‌شوند که ضرایب جزئی که مقیاس دقت در فرمول (ث-۳) را کمینه می‌کنند، پیدا شوند.

ث-۴-۲-۸ مرحله ۷: آزمون و تعیین ضرایب جزئی

با حل مساله بهینه‌سازی در مرحله ۶، یک حدس اولیه از ضرایب جزئی بدست آمده است. بر این اساس ضرایب جزئی نهایی با در نظر گرفتن قضاوت رایج مهندسی و عرف تعیین می‌گردد.

ث-۵ نمونه‌هایی از واسنجی ضرایب جزئی[1]

ث-۵-۱ شرح مساله

در زیر یک تابع حالت حدی ساده اما معرف در نظر گرفته شده است

$$g = zRX_R - ((1-\varphi)G + \varphi(\varphi_Q Q_1 + (1-\varphi_Q)Q_2)) \qquad \text{(ث-۵)}$$

که در آن :

R ظرفیت باربری است

X_R مدل عدم‌قطعیت است

z یک متغیر طرح است

G بار دائمی است

Q_1 بار متغیر نوع ۱ است مثلا بار باد

Q_2 بار متغیر نوع ۲ است مثلا بار برف

φ ضریبی است بین صفر و یک برای مدل‌سازی نسبت بار متغیر و بار دائم

φ_Q ضریبی است بین صفر و یک برای مدل‌سازی نسبت بارهای متغیر نوع ۱ و ۲.

۱- یک نرم افزار واسنجی آئین نامه (CodeCal) مطابق با فرایند تشریح شده در اینجا توسط JCSS تهیه شده است، به سایت www.jcss.byg.dtu نیز مراجعه شود.

به جدول ث-۱ برای مدل‌های احتمالاتی این متغیر های اتفاقی اساسی مراجعه شود. همه متغیر های اتفاقی پایه مستقل فرض می‌شوند. فرض می‌شود ترکیب بار در مدل بار مدل‌سازی شود. تعداد تکرار بارهای متغیر به صورت زیر فرض می‌شود:

بار باد: ۳۶۰ بار در سال

بار برف: ۱۰ بار دردوره ۵ ماهه که در آن فرض بر این است بارش برف رخ دهد.

بار اعمالی: یک بار در ۱۰ سال

جدول ث-۱- مدل های احتمالاتی برای متغیرهای اتفاقی

متغیر	نوع توزیع	میانگین	ضریب تغییرات	مقدار مشخصه
G	توزیع نرمال	۱/۰۰	۰/۱۰	۵۰٪
Q_1 و Q_2	توزیع گامبل	۱/۰۰	۰/۴۰	۹۸٪
R	توزیع لگ-نرمال	۱/۰۰	۰/۰۵	۵٪
X_R	توزیع لگ-نرمال	۱/۰۰	۰/۰۳	۵۰٪

معادله طراحی متناظر را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$G = zR/\gamma_m - (\varphi\gamma_G G_c + (1-\varphi)\gamma_Q(\varphi_Q Q_{1c} + (1-\varphi_Q)\psi Q_{2c})) = 0 \quad (ث-۳)$$

زیرنویس c، نماد مقدار مشخصه است، γm ضریب جزئی ایمنی(ضریب اطمینان جزئی) مقاومت است، γ_G ضریب جزئی ایمنی بار دائمی است، γ_Q ضریب جزئی ایمنی برای بارهای متغیر است و Ψ ضریب ترکیب بار است. فرمول بالا متناظر با موردی است که در آن ضرایب جزئی ایمنی برای مقاومت و بار و همچنین ترکیبات بارگذاری معرفی شده‌اند.

در شرایطی که فقط یک بار متغیر غالب است، می‌توان از بار متغیر دوم صرف نظر کرد بنابراین معادله برقرار می‌شود $\varphi_Q = 1$.

در ادامه، دو مورد برای کالیبراسیون در نظر گرفته شده که شاخص قابلیت‌اعتماد هدف سالانه βtarget مساوی ۲.۴ در نظر گرفته شده است. مقدار φ *بین۰/۲ و ۰/۹ با فواصل ۰/۱ برای نشان دادن مقادیر معمول و* $w_j = 1/8$ ($j = 1,2,\ldots,8$) *وزن‌های مساوی برای مقادیر مختلف* φ *در نظر گرفته شده است .*

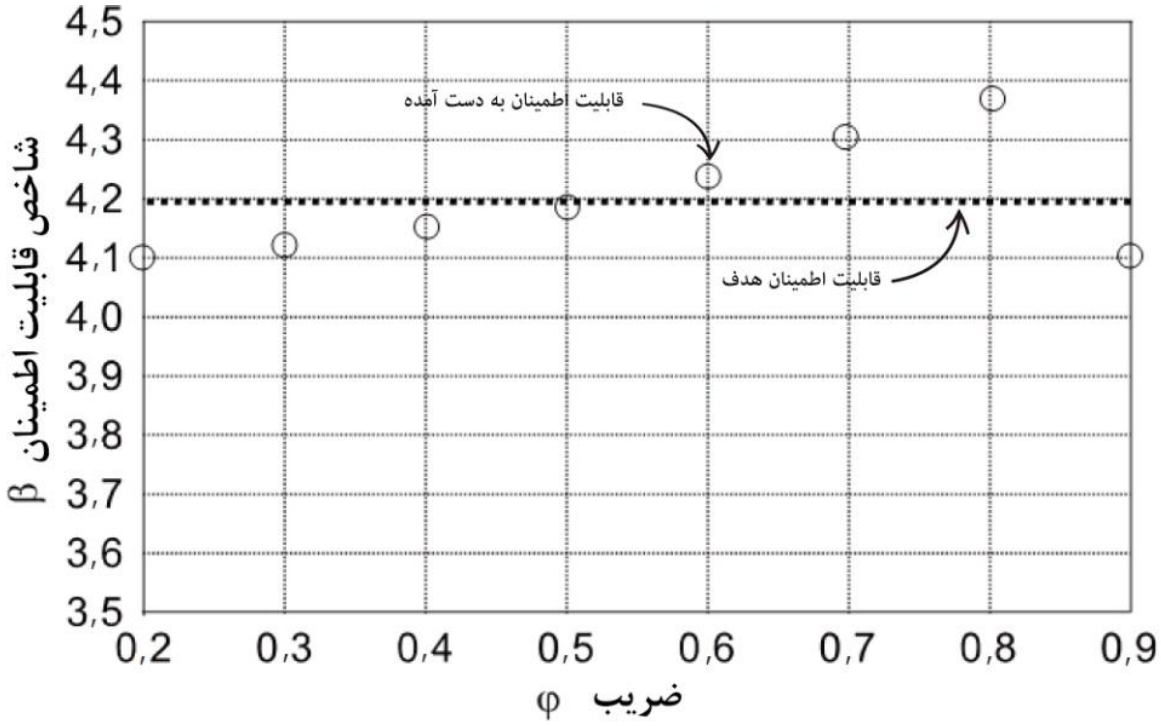
در حالت اول فقط یک بار متغیر غالب است در حالی که در حالت دوم هر دو بار متغیر دخیل هستند .

ث-۵-۲ مورد ۱: یک بار متغیر و ضرایب جزئی در هر دو چارچوب بار و مقاومت

این مورد به فرمول طراحی (ث-۶) با در نظر گرفتن $\varphi_Q = 1$ مربوط می‌شود .مقدار یکی از سه ضرایب جزئی در (ث-۶) می‌تواند به طور اختیاری انتخاب شود، در اینجا $\gamma_G = 1$ انتخاب شده است . بنابراین معادله طراحی به صورت زیر مختصر می‌شود:

$$G = \frac{zR_c}{\gamma_m} - \left(\varphi G_c + (1-\varphi)\gamma_Q Q_{1c}\right) = 0 \qquad (ث-۷)$$

با دنبال کردن فرایند تشریح شده در زیربند ث-۴-۲، ضرایب جزئی برابر مقادیر $\gamma m = 1{,}15$ و $\gamma Q = 1{,}65$ به دست می‌آیند. شاخص‌های قابلیت‌اعتماد به دست آمده برای مقادیر مختلف φ در *شکل ث-۱* نشان داده شده است.



تصویر ث-۱- شاخص قابلیت‌اعتماد به صورت تابعی از φ

ث-۵-۳ مورد ۲: دو بار متغیر و ضرایب جزئی در هر دو چارچوب بار و مقاومت

ضرایب ترکیب بار Ψ برای موارد زیر تعیین می‌شوند که در آن‌ها شاخص قابلیت‌اعتماد هدف $\beta target$ برابر ۲.۴ است.

$\psi_{I,E}$ بار محیطی و بار اعمالی غیر غالب

$\psi_{E,I}$ بار اعمال شده و بار محیطی غیر غالب

$\psi_{W,S}$ بار برف و بار باد غیر غالب

$\psi_{S,W}$ بار باد و بار برف غیر غالب

جدول ث-۲ نتایج برای $\varphi_Q = 0{,}1, 0{,}3, 0{,}5, 0{,}7,$ و $0{,}9$ نشان می‌دهد.

جدول ث-۲ ضرائب ترکیب بار

	$\varphi_Q = 0{,}1$	$\varphi_Q = 0{,}3$	$\varphi_Q = 0{,}5$	$\varphi_Q = 0{,}7$	$\varphi_Q = 0{,}9$
$\psi_{I,E}$	0,75	0,6	0,3	0,25	0,0
$\psi_{E,I}$	0,6	0,45	0,3	0,05	0,0
$\psi_{W,S}$	0,9	0,6	0,1	0,0	0,0
$\psi_{S,W}$	0,7	0,45	0,1	0,0	0,0

به مرجع ۴ نیز مراجعه شود. برای موارد با شرح بیشتر باید به خودآموز Code Cal مراجعه شود. در حالتی که واسنجی بر اساس رویکرد کلاسیک انجام می‌شود باید به پیوست ج و چ و ISO 2394:1998 مراجعه شود.

ث-۶ واسنجی مقادیر طرح در روش طرح- مقدار

ث-۶-۱ مقادیر طراحی بر اساس FORM

مقدار طراحی X_{id} از متغیرهای X_i بستگی دارد به:

- پارامترهای توزیع احتمال متغیر X_i

ـ نوع توزیع مفروض

ـ شاخص قابلیت‌اعتماد هدف β برای شرایط حدی و موقعیت طرح موردنظر

ـضریب α_i نشاندهنده حساسیت به تغییرات در X_i با توجه به رسیدن به حالت حدی، بر اساس تعریف ارائه شده در محاسبات FORM توصیف می‌کند .

برای X_i با توزیع دلخواه $F(x_i)$ مقادیر طراحی به شرح زیر ارائه می‌شود:

$$F(x_i) = \Phi(-\alpha_i \beta) \qquad (ث-۸)$$

اگر X_i با توزیع نرمال فرض شود داریم :

$$x_{id} = \mu_i(1 - \alpha_i \beta V_i) \qquad (ث-۹)$$

دراینجا V_i و μ_i مقادیر متوسط و ضریب تغییرات متغیر اتفاقی x_i می باشند . یک توزیع لاگ-نرمال نتیجه می‌دهد :

$$x_{id} = \xi_i \exp(-\alpha_i \beta v_i) \qquad (ث-۱۰)$$

درجائی که

$$\xi_i = \frac{\mu_i}{\sqrt{1 + V_i^2}}$$

$$v_i = \sqrt{\ln(1 + V_i^2)}$$

برای مقادیر کوچک V_i (یعنی $V_i \leq ۰/۲۵$)، $v_i \approx V_i$ و $\xi_i \approx \mu_i$

ث-۶-۲ ضریب حساسیت بر اساس FORM

در صورتی که متغیرهای اتفاقی مستقل باشند ، عامل α_i در تحلیل FORM دارای مشخصات زیر است :

$$-1 \leq \alpha_i \leq 1 \qquad (ث-۱۱)$$

$$\sum \alpha_i^2 = 1 \qquad (ث-۱۲)$$

مقادیر αi دراصل بهتر است از تعدادی محاسبات FORM به دست آید که نیازمند محاسبات تکرارشونده فراوانی است که مسلما چندان راحت نیست. اما بر اساس تجربه ، مجموعه‌ای از مقادیر استاندارد شده αi ایجاد شده که در جدول ث-۳ ارائه گردیده‌اند .

باید توجه داشت که در نتیجه محافظه‌کاری، مجموع مربعات می‌تواند بزرگتر از ۱ باشد. برای محدودکردن خطا در استفاده از جدول ث-۳ معمولا لازم است که $0,16 < \sigma S/\sigma R < 6,6$ ، که σ نشانه انحراف استاندارد و S بار غالب و R پارامتر مقاومتی غالب می‌باشند.

جدول ث-۳ ضریب حساسیت

X_i	α_i
پارامتر غالب مقاومت	۰/۸
پارامترهای مقاومت دیگر	۰/۴×۰/۸=۰/۳۲
پارامتر غالب بار	-۰/۷
پارامترهای بار دیگر	-۰/۴×۰/۷=-۰/۲۸
یادآوری- اصل مقادیر استانداردشده در پیوست ب ISO 2394:1998 ارائه شده بود که مقادیر مشابه با جدول ث-۳ پیشنهاد گردیده بود.	

در استفاده از جدول ث-۳ شخص از قبل نمیداند کدام متغیر بهتر است به عنوان غالب در نظر گرفته شود. تنها راه برای یافتن این موضوع این است که هر یک از متغیرها را به صورت تک تک غالب قرار داد و دید کدامیک بر طراحی حاکم می‌شود .

در برخی موارد این کار توسط نویسنده آئین‌نامه انجام می‌شود و برخی اوقات از وظایف طراح است (به طور مثال با بررسی انواع مختلف بار)

مثال- موردی ابتدایی با یک پارامتر مقاومت R و یک پارامتر بار S و هر دو با توزیع نرمال درنظر بگیرید. شاخص قابلیت‌اعتماد هدف را $\beta = 3,8$ فرض کنید. سپس از رابطه ث-۹ خواهیم داشت:

$$R_d = \mu_R - 3.04\sigma_R \quad و \quad S_d = \mu_s + 2.66\sigma_s$$

شخص اکنون باید $Rd > Sd$ را کنترل کند. اگر پارامتر بار S از توزیع لاگ-نرمال تبعیت کند ، رابطه ث-۱۰ جایگزین رابطه ث-۹ خواهد شد .

$$S_d = \mu_s \exp(2.66V_s)$$

سپس شخص باید $Rd > Sd$ را کنترل کند.

ث-۷ ضرایب جزئی طرح برای پدیده خستگی بر اساس خطوط S-N

ث-۷-۱ خطوط S-N

رویکرد خط S-N اغلب برای طراحی با توجه به خستگی استفاده می‌گردد و هر سه فاز مکانیسم خستگی را با هم ترکیب کرده و کاملا بر مبنای آزمایش است .

تعدادی از نمونه‌های آزمایشی تحت مجموعه‌ای از سیکل‌های بار با دامنه ثابت قرار می گیرند تا پدیده شکست رخ دهد. با رسم نمودار تنش در مقابل تعداد سیکل شکست، خط S-N به دست می‌آید. این خط ممکن است به متوسط سطح تنش وابسته باشد یا نباشد . به منظور دستیابی به بارگذاری واقعی با مقدار متغیر بر روی سازه ، یک قاعده آسیب تجمعی می بایست اعمال شود. مورد استفاده‌ترین روش، قاعده آسیب خطی پالگرن-ماینر است.

بر اساس این قاعده ، شکست در صورتی رخ می دهد که:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} > D_c \qquad (۱۳-ث)$$

که در آن :

ni تعداد سیکل بارهای اعمال شده با تراز دامنه تنش Si است؛

Ni تعداد سیکل های بار در لحظه شکست برای تراز دامنه تنش Si است؛

Dc مقدار بحرانی برای نسبت آسیب است.

فرض بر این است که دامنه تنش Si شامل تاثیرات تمرکز تنش باشد(مثلا در لبه جوش). به منظور یافتن تعداد تنش‌ها (ni)، برای هر تراز دامنه تنش (Si)، پروسه شمارش خاصی (مانند روش شمارش بارشی (rainflow)) می‌تواند مورد نیاز باشد. قاعده آسیب پالگرن-ماینر تاثیر ترتیب و توالی را در نظر نمی‌گیرد . در شرایط ایده آل ، مقدار بحرانی Dc برابر ۱ است اما به طور کلی این مقدار به تاریخچه بار ، محیط و نوع مصالح بستگی دارد.

ث-۷-۲ روش راستی‌آزمایی در طرح ضریب جزئی

فرمت ایمنی به نوع تحلیل بستگی دارد. در صورت ترکیب روش‌های آسیب تجمعی با خطوط S-N، قاعده راستی‌آزمایی به روش زیر ارائه می‌گردد :

$$\sum \frac{n_i}{N_i} < \frac{D_c}{g_d} \qquad (۱۴-ث)$$

$$N_i = N_i(g_{Ff} S_i, \frac{R_{fc}}{g_{Mf}} \qquad (۱۵-ث)$$

که در آن :

ni و Si بهترین تخمین برای تاریخچه بار می‌باشند.

R_{fc} مقدار مشخصه برای مقاومت خستگی است.

g_{Ff} ضریب جزئی مربوط به عدم‌قطعیت در مدل بار و تراز بار است.

g_{Mf} ضریب جزئی مربوط به عدم‌قطعیت در نوع مصالح است.

g_d ضریب جزئی مربوط به عدم‌قطعیت در قاعده تجمعی آسیب ، عمرکاری طرح و پیامدهای زوال است.

تراز ضرایب جزئی باید به موارد زیر بستگی داشته باشد:

- عدم‌قطعیت‌ها و حساسیت متغیرهای اتفاقی
- رواداری آسیب سازه، که در واقع توانایی سازه ترک خورده در یافتن مسیرهای جایگزین بار است
- فواصل بازرسی و احتمال تشخیص ترک و
- توانایی تاثیرگذاری بر تعمیرات.

نمونه ای از واسنجی ضرایب جزئی برای طراحی خستگی در منبع ۱۱ قابل دسترسی است.

پیوست ج
(آگاهی‌دهنده)
استحکام سازه‌ای

ج-۱ مقدمه

در بند ۴، مشخص شد که طراحی سازه ها باید توسط ارزیابی‌های استحکام مبتنی بر ریسک و یا با توجه به مقررات استحکام در رابطه با رویاروئی‌های اعمالی بر سازه و همچنین سامانه سازه‌ای و نتایج زوال سامانه تائید شود. در این پیوست، به یک چارچوب علمی برای تأیید چنین ارزیابی‌هایی و همچنین برای تعریف قوانین مناسب اشاره شده است.

ابتدا یک طبقه‌بندی از سازه‌ها ارائه شده است که یک ارزیابی سرانگشتی برای مشخص شدن لزوم ارزیابی و طراحی مبتنی بر ریسک در شرایط مورد نظر و همچنین تراز تلاش‌های لازم را ممکن می‌سازد. پس از آن، راهبردی برای انتخاب استراتژی و مقررات مناسب برای طراحی استحکام برای مواردی که ارزیابی مبتنی بر ریسک لازم نیست، ارائه می‌شود و در آخر چارچوب نظری برای یک ارزیابی استحکام برمبنای قابلیت‌اعتماد یا خطرپذیری کامل آورده شده است.

این پیوست بر مبنای نتایج استحکام سازه‌ای COST Action TU0601 است (به مرجع ۲ مراجعه شود) و اکثر بخش‌های متن، جداول و اشکال از آن گرفته یا اقتباس شده‌اند .

ج-۲ طبقه‌بندی سازه‌ها بر اساس پیامدها

طبقه‌بندی سازه‌ها با استفاده از نتایج رده‌های پیامدی نشان داده شده در جدول ج-۱ ساده‌سازی شده است. اقدامات استحکامی مناسب و روش‌های مناسب تحلیل برای استفاده در هر موقعیت، مثلا به صورت زیر می‌تواند به رده پیامدی آن وابسته باشد:

رده پیامد ۱: توجه خاصی به استحکام ندارد.

رده پیامد ۲: به شرایط خاص سازه مورد نظر بستگی دارد. تحلیل‌های ساده شده بر اساس بر بارهای ایده‌آل شده و مدل‌های عملکرد سازه‌ای و یا طرح‌ها و یا جرئیات آماده.

رده پیامد ۳: شناسایی سامانه‌ای سناریوهایی که منجر به فروریزش سازه‌ای می‌شوند. درنظر گرفتن استراتژی برای برخورد با سناریوهای شناسایی شده. تحلیل عملکرد سازه‌ای می‌تواند بر اساس مدل‌های ساده شده و ایدال و تنها به منظور توجیه باشد. از طرح و جزئیات آماده نیز می‌توان استفاده نمود اما باید مشخصا سناریو های شناسایی شده را حل کنند. بعنوان مبنای ساده‌سازی و ایده‌آل‌سازی باید از تحلیل های قابلیت‌اعتماد و ریسک که به پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم میپردازند، استفاده شود.

رده پیامد ۴: مطالعات گسترده و تحلیل سناریوهایی که منجر به فروریزش سازه‌ای می‌شوند با بهره‌گیری از جلسات غربال گری ریسک که در آن متخصصان کلیه موضوع‌های مربوط حضور داشته باشند. ارزیابی‌های دقیقی باید با استفاده از تحلیل های دینامیکی و غیرخطی سازه و تحلیل دقیق ریسک ناظر بر پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم هستند، صورت‌پذیرد.

رده پیامد ۵: مانند رده پیامد ۴ با افزودن یک کارشناس یا هیات بازبینی متخصص از خارج از مجموعه برای کنترل کیفیت.

جدول ج-۱ -رده پیامدها (بخشی از آئین‌نامه EN 1991–1-7:2006 اروپا اقتباس شده است)

رده	شرح پیامدهای مورد انتظار	نمونه سازه
رده ۱	غالبا خسارت مادی ناچیز	ساختمان‌های کوتاه در جاهایی که تعداد کمی از مردم سکونت دارند، توربین‌های بادی کوچک ، اسطبلها و ...
رده ۲	خسارات مادی و کارکردی دارای اهمیت برای صاحبان و کاربران است که اثر اجتماعی کم یا ناچیزی دارد.خسارات وارد بر کیفیت محیط زیست که می‌تواند طی چند هفته جبران شوند. شمار مرگ و میر مورد انتظار کمتر از ۵.	ساختمان‌های کوچکتر و تجهیزات صنعتی، پلهای کوچک، توربینهای بادی بزرگ، تجهیزات دریایی کوچک یا بدون سرنشین و...
رده ۳	خسارت مادی یا کارکردی دارای اهمیت اجتماعی که موجب اختلالات منطقه‌ای شده و موجب تاخیر چند هفته‌ای در خدمات عمومی دارای اهمیت می‌شوند. ایجاد خسارت در کیفیت محیط زیست محدود به اطراف سازه بوده و در چند هفته قابل جبران است. شمار مرگ و میر مورد انتظار کمتر از ۵۰.	اکثر ساختمان‌های مسکونی، پل‌ها و تونل‌های معمولی، تجهیزات دریایی معمولی، تجهیزات صنعتی بزرگ و خطرناک.
رده ۴	وقایع فاجعه‌باری که موجب خسارات شدید در خدمات عمومی و اختلال و تاخیر در مقیاس‌های ملی و در حد چندین ماه می‌شوند. خسارات قابل توجه بر کیفیت محیط زیست در مقیاس ملی و با گستردگی قابل توجه در خارج از محدوده رویداد زوال که تنها قسمتی از آن‌ها در طول چندین ماه قابل بازیابی است. شمار مرگ و میر مورد انتظار کمتر از ۵۰۰.	ساختمان‌های بلند، ورزشگاه‌ها، پل‌ها و تونل‌های بزرگ، سدها، بندها، تجهیزات دریایی کوچک، خطوط لوله،پالایشگاه‌ها، کارخانه‌های شیمیایی و ...
رده ۵	وقایع فاجعه‌باری که موجب خسارات شدید در خدمات عمومی و اختلال و تاخیر در مقیاس‌های ملی و در حد چندین سال می‌شوند. خسارات قابل توجه بر کیفیت محیط زیست در مقیاس فراتر از ملی که تنها قسمتی از آن‌ها در طول چندین سال یا دهه قابل بازیابی است. شمار مرگ و میر مورد انتظار بیش از ۵۰۰.	ساختمان‌های با اهمیت بالا، انبارها و مخازن مواد سمی، تجهیزات دریایی بزرگ، سدها و بندهای بزرگ و ...

باید به این موضوع اشاره شود که پیامدهایی که در جدول ج-۱ تشریح شده‌اند را باید مقادیر مورد انتظار پیامدها تلقی نمود و بنابراین به طور ضمنی به رویاروئی‌های اصلی، عملکرد سازه‌ای و کاهش خسارت بستگی دارد. در جدول به مراکز هسته اشاره روشنی نشده است، اما می‌توان آن‌ها را جز سازه‌های رده پیامد ۵ در نظرگرفت.

ج-۳ راهنما برای انتخاب استراتژی‌های طرح و مقررات استحکام مناسب

ج-۳-۱ کلیات

در مواردی که رویکرد مبتنی بر ریسک و قابلیت‌اعتماد الزامی نیست، روش‌های طراحی موجود برای تعیین مقررات مناسب استحکام را می‌توان به شکل زیر دسته‌بندی نمود (به جدول ج-۲ نیز مراجعه شود):

- کنترل رویداد (EC)[1]: بر احتمال وقوع خطر (H)[2] تاثیر می‌گذارد.

یادآوری - این روش تنها در طرح برای مخاطرات شناسایی شده قابل اعمال است.

- مقاومت بار مشخص(SLR)[3]: احتمال خسارت موضعی (L)[4] با اطلاع از وقوع خطر (H) را تحت تاثیر قرارمی‌دهد. بدین معنا که آسیب‌پذیری سازه و اعضای آن را کاهش می‌دهد. معمولا آسیب موضعی به عنوان آسیب مستقیم شناخته می‌شود.

جدول ج-۲ - دسته بندی روش‌های طراحی

روش	ایجاد کاهش در	مسائلی که باید درنظر داشت
الف-کنترل رویداد (EC)	احتمال رویداد و یا شدت یک رویداد تصادفی	نظارت، کنترل کیفی، اصلاح و پیشگیری
ب- مقاومت بار مشخص (SLR)	احتمال خسارت موضعی در اثر یک رویداد تصادفی	تاب و سختی مزایای سختی در اثرکرنش زوال نرم بجای زوال ترد مقاومت پس از کمانش تجهیزات مکانیکی
پ- مسیرهای بار جایگزین (ALP)	احتمال گسترش خسارت در اثر یک آسیب موضعی	مسیر بارهای چندگانه و افزایش توان مازاد زوال پیش رونده در مقابل زوال ناگهانی خط دوم دفاعی طرح ظرفیتی و لحاظ اعضای فیوزی تجهیزات پیشمرگ و محافظتی انجام آزمایشات تاب و سختی پیوستگی و انعطاف‌پذیری
ت-کاهش پیامدها	پیامدهای خسارات دنباله دار مانند خسارات پیش‌رونده	جداسازی هشدار، مداخله و عملیات نجات توان مازاد خدمات مراکز خدمت‌رسانی

1- Event Control
2- Hazard
3- Specific Load Rezistance
4- Local

- مسیرهای بار جایگزین :(ALP) بر روی احتمال گسترش خسارات (خسارات ثانوی) تاثیر میگذارد، مانند فروریختگی در اثر خسارت موضعی. پیش‌بینی‌های سازه‌ای مانند خاموت‌ها می‌توانند به تامین ALP کمک کنند.

- اقداماتی که پیامدهای زوال و خصوصاً پیامدهای غیرمستقیم را کاهش می‌دهند.

اقدامات الف و ت روش‌های غیرمستقیم هستند در حالی که ب و ث روش‌های مستقیمی برای جلوگیری از فروریزی نامتناسب هستند. طرح مستقیم با نشان دادن توانایی سازه در برآورده کردن اهداف عملکردی تعیین شده، در زمان رخ دادن سناریوهای خطر مشخص که سازه را تحت تاثیر قرار می دهند، به دنبال تضمین مقاومت در برابر فروریختن در فرایند طراحی است. بنابراین طراحی مستقیم به شدت به تحلیل سازه‌ای متکی است.

از طرف دیگر، طراحی غیرمستقیم، به دنبال کاهش ضمنی تاثیرات یک خطر با ترکیب ویژگیرهای طراحی مورد توافقی است که به دست یابی به اهداف عملکردی کمک می‌کند.

ج-۳-۲ کنترل رویداد

منظور از کنترل رویداد، اجتناب از وقوع یا محافظت در برابر واقعه‌ای است که می‌تواند منجر به زوال نامتناسب شود. این روش باعث افزایش مقاومت ذاتی یک سازه در برابر زوال نامناسب نمی‌شود. از زمانی که یک ساختمان مورد استفاده قرارمی‌گیرد، موثر بودن این روش وابسته به میزان مطابقت به کارگیری آن با مشخصات و توصیه های طراح در زمینه کنترل رویداد است.

اما،اقدامات پیشگیرانه‌ای مانند موارد زیر وجود دارند که می‌توانند احتمال تحقق یک خطر با شدت زیاد را کاهش دهند:

- برنامه ریزی موقعیت ساختمان.
- رعایت حریم پیرامونی.
- تامین سامانه های نظارت مانند هشدار و امنیت.
- جلوگیری از ذخیره مواد منفجره.
- قرار دادن تمهیدات حفاظتی در اطراف ساختمان بر روی جلوگیری از اصابت ضربه.
- نشت‌یاب گاز و دستگاه‌های اتوماتیک قطع کننده جریان گاز.
- کنترل یا محدود نمودن منابع محترقه.
- محدود نمودن بار آتش.
- سامانه‌های اطفا حریق.
- نصب سامانه های تشخیص و هشدار دود.
- استفاده از سامانه های نظارت و سلامت سازه‌ای.
- کنترل کیفیت در مدت فعالیت های اجرا، نگهداری و تعمیر.

تمهیدات ایمنی پیشگیرانه می‌توانند باعث کاهش احتمال وقوع یک خطر با شدت زیاد و کاهش دوره بازگشت مرتبط با آن بشوند.

ج-۳-۳ مقاومت بار مشخص(SLR)

در این روش، تاب مورد نیاز برای مقابله با زوال ناشی از حوادث یا استفاده نادرست، برای اجزا سازه‌ای در مناطق خاصی از ساختمان تامین می‌شود تا بتوانند در برابر بارهای تصادفی مقاومت کنند. برای این منظور باید اجزا را بر اساس اهمیت آن‌ها در حفظ ساختمان دسته بندی کرد و اعضای اصطلاحا کلیدی را شناسایی نمود. از آنجا که در غیاب اعضای کلیدی ساختمان به عنوان یک مجموعه واحد قادر نخواهد بود مسیرهای جایگزین بار قدرتمندی ایجاد نماید، زوال این اعضا موجب خسارات بیشتری شده و موجب اختلال در اهداف عملکردی می‌شود. ستون‌ها و دیوارهای باربر ساختمان، هریک از پایه‌های پل و یا هر کابل در سازه‌های کابلی را می‌توان مثال‌هایی برای عناصر کلیدی بالقوه دانست.

لازم است در نظر داشت که تضمین امنیت بیشتر در برابر خسارت اولیه، نیازمند چیزی بیشتر از استفاده از بارهای طراحی بالاتر یا تکیه به تدابیر احتیاطی است. یک خسارت اولیه می‌تواند توسط مسائلی مانند زنگ‌زدگی یا آتش‌سوزی هم ایجاد شود- اتفاقاتی که بیشتر با اقدامات "کنترل رویداد"مانند محافظت در برابر خوردگی ، بازرسی منظم، محافظت در برابر آتش، سامانه‌های آتش‌نشانی خنثی می‌شوند تا مواردی مانند افزایش بارهای طراحی.

روش SLR برای ساختمان‌های دارای عناصر کلیدی قابل شناسایی محدود مناسب و مقرون به صرف است. اما، بعضا برای ساختمان‌هایی با تعداد بالای عناصر کلیدی که پیاده‌سازی روش‌های دیگر آسان یا کاربردی نیست، لازم می‌شود که از همین روش استفاده شود. مانند ساختمان‌هایی که کمبود مسیرهای جایگزین بار دارد و کنترل رویداد و پیامدها در آن اگر غیر ممکن نباشد، مشکل است،.

ج-۳-۴ مسیرهای بار جایگزین(ALP)

مسیر بار جایگزین روش مستقیمی برای بهبود استحکام یک ساختمان است. در این روش، معمولا مسیرهای جایگزین برای انتقال بار از نقطه اعمال به نقطه مقاوم، با حذف ترتیبی اعضای سازه‌ای ارزیابی می‌شوند. این کار (با فراهم شدن مسیرهای جدیدی که به اندازه کافی مقاوم هستند) توزیع مجدد نیروهایی که در اصل توسط اعضای زوال یافته حمل می‌گردیده، را فعال می‌سازد تا از گسترش زوال جلوگیری نماید. مسیرهای جایگزین همچنین می‌تواند با مکانیزم‌های جا به جایی بار شکل بگیرند، برای مثال با :

- وارونگی انتقال بار خمشی(مثل تغییر از تکیه بر ستون به نگهداشتن یک ستون زوال یافته)
- تغییر از انتقال بار خمشی به کششی (مانند رفتار زنجیرآویز)
- تغییر از انتقال بار صفحه‌ای به فضایی (مانند تغییر از دال یک‌طرفه به دال دوطرفه)

روش مستقیم مستلزم این است که طراح اثبات کند که سازه، با پل زدن بین یک یا چند عضو سازه‌ای زوال یافته (یا فرضا حذف شده) با پتانسیل تراز پائین‌تر خسارت نسبت به حد تعیین شده، قادر به انجام اهداف عملکردی خود خواهد بود . این روش میتواند هم بر روی موقعیت‌های خطرمشخص و هم خطر نامشخص اعمال شود، چرا که خسارات فرضی که در روش مسیرهای جایگزین در نظر گرفته شده‌اند تهدید نامشخص هستند. زمانی که از روش مسیر جایگزین به صورت تهدید مشخص استفاده می‌کنیم، خسارت اولیه که میتواند ناشی از یک تصادف باشد در ابتدا از تحلیل مقدماتی مشخص می‌شود. در بسیاری از استانداردهای

طراحی ساختمان تنگ‌ها از طریق قواعد تعریف شده طراحی توصیه شده‌اند، به گونه‌ای که رفتار زنجیرآویز ایجاد شده و شکل پذیری ساختمان تضمین شود. به نظر می‌رسد که قصد اکثر اقدامات مدون، فراهم کردن مسیرهای جایگزین بار است

اصولا، استراتژی ALP موقعیتی را در نظر می‌گیرد که یک یا چند عضو سازه‌ای (تیر، ستون، دیوار) توسط یک اتفاق، به حدی آسیب دیده اند که ظرفیت تحمل بار آن‌ها کاملا از بین رفته است.

احتمال اینکه بعضی از عناصر به دلایلی از برداشته شده باشد به نوع ساختمان بستگی دارد. در مورد یک طرح خطرنامشخص، استراتژی ALP با فرض سناریوهایی منطقی از خسارت اولیه شروع می‌شود. آنگاه ساختمان به گونه‌ای طراحی می‌شود که گسترش این خسارت اولیه محدود شود.

ایجاد مسیرهای جایگزین بار در جزئیات محل و سازه‌ای، در جایی که به روشنی لحاظ نشده است، با پیش‌بینی کمترین تراز تاب، پیوستگی و شکل پذیری سازه انجام می‌شود. موارد زیر مثال‌های مناسبی برای افزایش استحکام یک ساختمان هستند:

- نقشه مناسب
- سامانه تنگ یکپارچه
- بازگشت بر روی دیوارها
- افزایش نامعینی
- طرح شکل پذیر
- ضدآتش کردن اعضای سازه‌ای

اما گاهی اوقات در ساختمان‌های بزرگ، قطعه‌بندی و متصل نکردن همه بخش‌ها با یکدیگر ممکن مناسب باشد، تا بتوان پیشروی زوال فراتر از هر قطعه را متوقف کرد.

ج-۳-۵ اقدامات کاهش پیامدها

هدف از پیاده سازی تمهیدات کاهش پیامدها، کاهش پیامدهای مستقیم و غیر مستقیم زوال و به تبع آن کاهش ریسک کل است، این اقداماتی میتوانند از قبیل موارد زیر باشند:

- سازه‌ای و معماری
- الکترو مکانیکی (تجهیزات)
- سازمانی، شامل برنامه‌ریزی شرایط اضطراری
- نجات خود و نجات توسط دیگران
- مراکز پشتیبانی

از اقدامات مهم سازه‌ای و معماری می‌توان به قطعه بندی احتمالی یا تقسیم بندی سازه و تامین مسیرهای فرار یا تخلیه اشاره کرد. اقدامات تجهیزات الکترو مکانیکی برای مثال شامل سامانه‌های آب پاش خودکار، سامانه‌های هشدار برای تخلیه، مرکز کنترل شامل سامانه‌های نظارت ویدئویی و غیره است. برای اقدامات سازمانی می‌توان یک سامانه مدیریت شرایط اضطراری واضح و هشیاری ایمنی تمام کارکنان و بهره برداران

سازه را مثال زد. نجات خود و نجات به روشهای دیگر را می‌توان با برگزاری تمرین‌های آزمایشی منظم مانند مانور سیل و آتش سوزی به طور موثرتر نمود.
پیامدهای از دست رفتن یک ساختمان مهم را می‌توان با داشتن مراکز جایگزینی که برای همان هدف ولی در زمان کوتاه‌تری استفاده می‌شود، کاهش داد . مثلا در مورد بانک، می‌توان با نگهداری نسخه‌ای دیگر از مدارک در جای دیگری این کار را انجام داد تا شعبه دیگری بتواند کاری را که شعبه از کارافتاده را انجام دهد .

ج-۴ روش ارزیابی استحکام مبتنی بر ریسک

ج-۴-۱ کلیات

ارائه سامانه هایی که تعیین و رتبه بندی تصمیم‌های جایگزین با هدف بهبود عملکرد سامانه بر اساس تاثیر آن‌ها در کاهش ریسک را تسهیل می‌کنند، برای ارزیابی ریسک سامانه های سازه‌ای مزیت محسوب می‌شود. در ادامه ، چنین چارچوبی معرفی شده است و به کاربرد آن در ارزیابی استحکام سازه‌ها اشاره‌ها شده است.

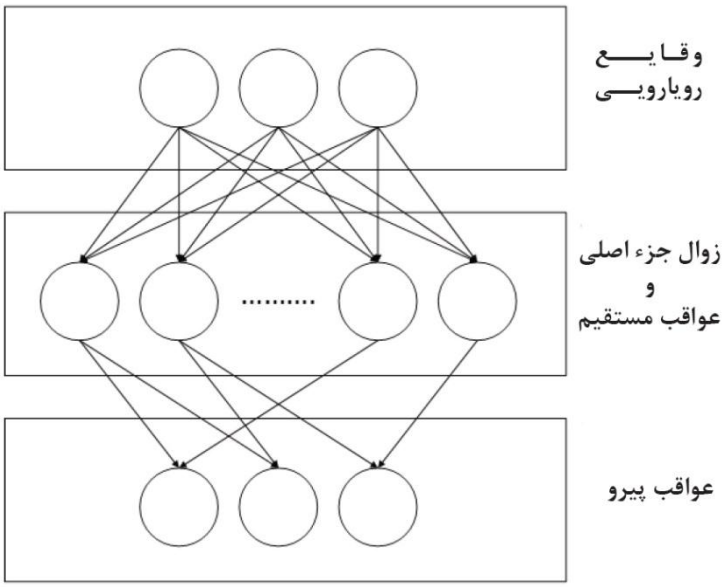
ج-۴-۲ ارزیابی ریسک سامانه های سازه‌ای

در ارزیابی‌های ریسک اصولی که بمنظور تصمیم‌گیری انجام می‌گیرد، یک روش سناریویی را می‌توان بر اساس سه گام زیر تعریف کرد:
گام ۱: مدل سازی خطرات (رویارویی ها) Hi.
گام ۲: ارزیابی خسارات مستقیم Dj.
گام ۳: ارزیابی رفتار سازه در ادامه (پیرو) Sk و کل پیامدهای متناظر $C(Sk)$
با داشتن احتمالات مربوطه (مشروط) ، ریسک مربوط به سامانه سازه را می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$R = \sum_i \sum_j C_{dir,ij} P(D_j|H_i) P(H_i) + \sum_K \sum_i \sum_j C_{ind,ijk}\, P(S_k|D_j \cap H_i) P(D_j|H_i) P(H_i) \quad (ج-۱)$$

که در آن :
$C_{dir,ij}$ پیامد (هزینه) مورد انتظار از خسارات(زوال موضعی) D_j در اثر رویارویی Hi.
$C_{ind,ijk}$ پیامد (هزینه) مورد انتظار از خسارات(پیرو) Sk با داشتن خسارات (زوال موضعی) D_j در اثر رویارویی EXi.
$P(H_i)$ احتمال رویارویی Hi است،
$P(D_j|H_i)$ احتمال خسارت D_j در اثر رویارویی Hi است،
$P(S_k|D_j \cap H_i)$ احتمال خسارت وسیع Sk با داشتن خسارت موضعی D_j در اثر رویارویی Hi است.
معیار پیامد C می‌تواند یک واحد مالی (اغلب بر واحد زمان) باشد و یا تعداد تلفات مورد انتظار در هنگامی که تنها ایمنی جانی مدنظر است. مورد دوم معمولا در ارتباط با ارزیابی ریسک اجتماعی یا ریسک فردی استفاده می‌شود. همانطور که قبلا اشاره شد، پیامدهای مرتبط به محدوده مورد توجه سامانه در تحلیل ریسک بستگی دارد.

ارزیابی ریسک یک سامانه می‌تواند با درنظر گرفتن شمای کلی ارائه شده در شکل ج-۱ تسهیل گردد. رویارویی با مخاطرات، با وقایع رویارویی متفاوتی نشان داده می‌شود که می‌توانند بر اجزای اصلی سامانه مورد نظر تاثیر بگذارند.



شکل ج-۱ - نمایش عمومی سامانه در ارزیابی ریسک (پیامدهای پیرو به عنوان پیامدهای غیر مستقیم نیز شناخته می‌شوند)

اجزای اصلی یک سامانه را می‌توان اولین خط دفاعی در برابر یک خطر در نظر گرفت. خسارات وارد شده به سامانه بر اثر زوال اجزای اصلی به عنوان پیامدهای مستقیم در نظر گرفته می‌شوند.

پیامدهای مستقیم می‌توانند شامل موارد مختلفی از سامانه از جمله خسارات مالی، خسارات جانی، و آسیب‌های وارد بر محیط زیست و یا حتی تغییراتی در خصوصیات اجزای اصلی باشد(به جدول ج-۴ مراجعه شود). بسته به ترکیب وقوع زوال اجزاء اصلی و پیامدهای مربوطه، پیامدهای پیرو(یا غیر مستقیم) می‌توانند رخ دهند. اگر استحکام ساختمان بالا باشد پیامدهای غیر مستقیم کوچک خواهند بود و بر عکس.

ج-۴-۳ معرفی خطر

خطراتی که توصیه می شود درنظر گرفته شوند شدیدا وابسته به موقعیت سازه است. سه دسته متفاوت را می‌توان تعریف کرد: اولین دسته از اتفاقات که کم و بیش توسط طبیعت یا فعالیت‌های عمومی انسان افزایش می‌یابد. اتفاقات طبیعی مانند بادهای شدید و زمین‌لرزه و اتفاقات انسانی(غیر عمد) مانند انفجارها، اما تفاوت آن‌ها ارتباط زیادی با طراحی ساختمان ندارد.

دومین دسته شامل نوعی از فعالیت‌ها (انسانی) است که عمدی هستند، مانند حملات خراب‌کارانه یا مغرضانه. در مواردی ممکن است قویتر کردن ساختمان برای مقابله با آن‌ها کمک چندانی نکند چرا که ممکن است باعث (وا)کنش بیشتری روی بارگذاری شود. این نوع مخاطرات بعد از اتفاق یازده سپتامبر ۲۰۰۱ اهمیت بیشتری پیدا کرده‌اند.

دسته سوم شامل اشتباهات و سهل انگاریها می‌شود. ارتباط مستقیمی میان این نوع از مخاطرات و کنترل کیفی و نظارت وجود دارد، این اتفاقات را می‌توان با نظارت و کنترل کیفیت در تمام مراحل عمر ساختمان و

بانضمام تمهیدات کلی استحکام مناسب برای مقابله با کنش‌های نامشخص، به بهترین شکل کنترل کرد. به عنوان راهنما، مخاطرات اشاره شده در جدول ج-۴ را بهتر است به عنوان کاندیدهای بالقوه در نظر گرفت.

جدول ج-۴ - بررسی اتفاقات مربوط به ارزیابی ریسک و ایمنی سازه‌ای

خطر	رده
انفجار داخلی گاز	۱
انفجار داخلی گردو غبار	۱
انفجار داخلی بمب	۲
انفجار خارجی بمب	۲
آتش سوزی داخلی	۱
آتش سوزی خارجی	۱
برخورد ماشین	۱
برخورد هواپیما، کشتی	۱
زمین لرزه	۱
رانش زمین	۱
فرونشست معدن	۱
گردباد و طوفان موسمی	۱
بهمن	۱
سقوط سنگ	۱
بالا آمدن آب‌های زیرزمینی	۱
سیل	۱
موج طوفان	۱
فوران آتش فشان	۱
حمله زیست محیطی	۱
سونامی	۱
خرابکاری	۲
اثرات بی نظمی جامعه	۲
خطاهای ارزیابی یا طرح	۳
خطای مصالح	۳
خطای اجرا	۳
خطای کاربر	۳
نقصان نگهداری(استهلاک)	۳
خطا در ارتباطات	۳

توجه داشته باشید که در بعضی مواقع، ممکن است یک اتفاق به دنبال یک اتفاق دیگر ایجاد شود و موجب پیامدهای شدیدتری برای سامانه سازه‌ای شود. موارد زیر مثال‌هایی برای این موقعیت‌ها هستند :

- انفجار گاز و یا آتش سوزی بعد از زمین لرزه
- سونامی به دنبال یک زمین لرزه
- آتش سوزی به دنبال انفجار گاز یا انفجار بمب
- آتش سوزی به دنبال گردباد و یا طوفان‌های دیگر
- تخریب اجزا به دنبال خسارت ناشی از یه کنش تصادفی

ج-۴-۴ پیامد های مستقیم و غیر مستقیم

پیامدها را می‌توان برای مثال با مجموع خسارات مالی مربوط به زوال اجزای اصلی و تغییرات فیزیکی کل سامانه ناشی از آثار ترکیبی زوال اجزای اصلی بیان نمود.

در ارزیابی ریسک سامانه ها، پیامدهای غیر مستقیم نقش مهمی را ایفا می‌کنند و به مدل سازی آن‌ها باید اهمیت زیادی داده شود. باید به این موضوع اشاره شود که هر جز سامانه می‌تواند به عنوان یک سامانه مدل شود. یک سامانه میتواند یک شبکه جاده باشد که پلها از اجزا آن هستند. یک پل، به نوبه خود، می تواند یک سامانه باشد که اجزای آن عضوهای سازه‌ای باشند. بسته به سطح جزئیات ارزیابی ریسک، تعریف سامانه، رویارویی، اجزای اصلی و پیامدها می‌تواند متفاوت باشد.

بسته به موقعیت، پیامدهای ارائه شده در جدول ج-۵ می‌توانند لحاظ شوند.

به عنوان مثالی از سیر تکاملی پیامدهای مربوط به یک سناریو که موجب فروریزی سازه‌ای میشود، ساختمانی را همانطور که در شکل ج-۲ نشان داده شده است در نظر بگیرید که در یکی از طبقات بالایی آن انفجار رخ داده است. در این مورد، پیامدهای مستقیم، تغییر در رفتار و یا خسارت وارد بر اجزایی است که (به طور مستقیم) در معرض خطر قرار گرفته اند(به مرحله ۲ شکل مراجعه شود). بر مبنای سطح این واکنش، رفتار قسمتهای دیگر سازه می‌تواند منجر به پیامدهای غیرمستقیم شود (به مرحله ۳ شکل مراجعه شود).

توجه به تعریف محدوده سامانه مورد نظر، که نقش مهمی در پیامدها و به تبع آن در ریسک کلی بازی می‌کند، بسیار مهم است. محدوده میتواند به گونه‌ای تعریف شود که فقط پیامدهای مربوط به خود سازه مدنظر باشد. در این حالت، حد پیامدهای مستقیم، پیامدهایی است که به آسیب‌های وارد بر اجزای سازه و محتوای آن مرتبط است. پیامدهای غیرمستقیم می‌تواند مرتبط با زوال زنجیره‌ای اجزا و در نهایت فروریختن سازه باشد که منجر به از دست رفتن کل سازه میشود. اما در بسیاری از موارد، خصوصاً برای سازه‌های مشمول رده پیامد

۳ و بالاتر، درنظر گرفتن پیامدهایی فراتر از خود سازه، دارای اهمیت ویژه است. این موضوع خصوصاً زمانی مهم است که پیامدهای مرتبط با خسارت به محیط زیست، کسب و کار و اعتبار مربوط باشد.

جدول ج-۵ - انواع پیامدهای یک واقعه نامطلوب

نوع پیامد	پیامد
سلامت	تلفات جانی
	جراحت
	در اثر آسیب دیدن مراکز حیاتی (مثل بیمارستان‌ها)، شیوع بیماریها
	تاثیرات تاخیری و بلند مدت بر سلامت
	مسائل روانی
اقتصادی/ مالی	خسارت به سازه/ ساختمان
	خسارت به اموال مجاور
	خسارت به محتویات
تداوم کسب و کار	از دست دادن درامد
	از دست دادن مشتری
	ناتوانی بر تامین خدمات و یا فعالیت‌های حیاتی
	هزینه انحراف مسیر و تاخیرها
	خسارت وارد بر اقتصاد یک منطقه
محیط زیست	واژگونی محیطی
	خسارت برگشت ناپذیر بر طبیعت و محیط
سیاسی و اجتماعی	از دست دادن اعتبار
	افزایش ترس و وحشت عمومی
	از دست دادن حمایت سیاسی/ انجام اقدامات جدید سختگیرانه
	متروکه شدن / تخلیه بلند مدت

ج-۴-۵ خصوصیات دیگر ریسک و استحکام سازه‌ای

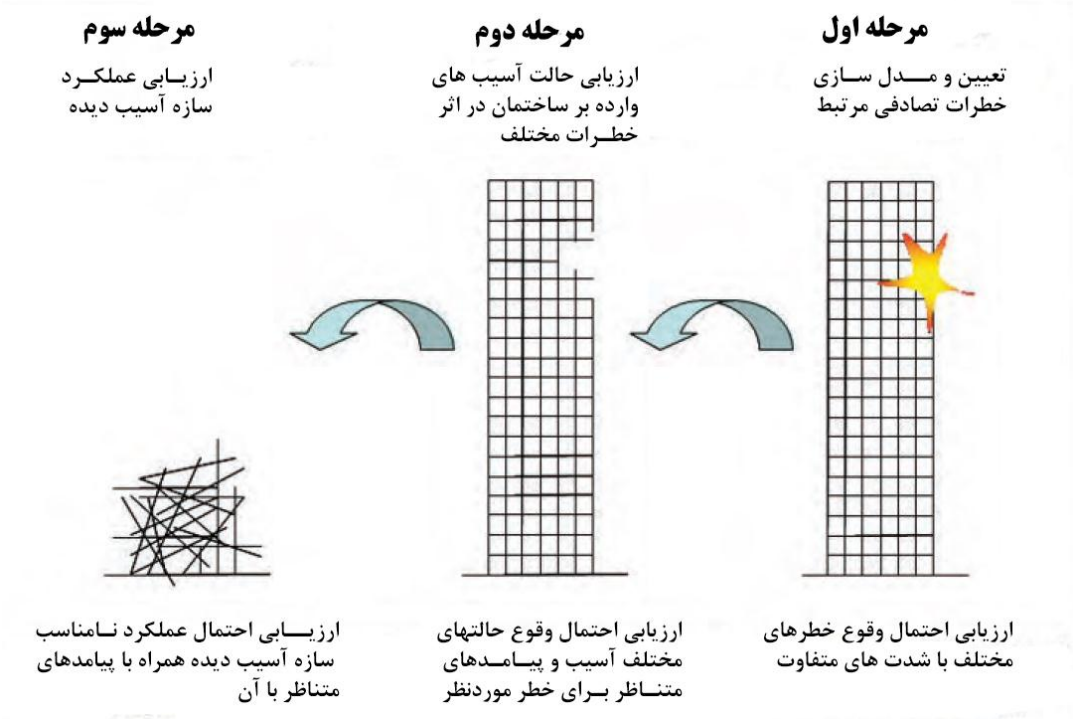
در حالی که ریسک ناشی از زوال می‌تواند توسط فرمول (ج-۱) تعیین شود، یک شاخص استحکام بدون بعد، مقایسه تصمیمات جایگزین مختلف برای افزایش استحکام را آسان تر می‌کند.

یک شاخص استحکام مبتنی بر ریسک ($Irob$) می‌تواند به صورت زیر تعریف شود:

$$I_{rob} = \frac{R_{Dir}}{R_{Dir} + R_{ind}} \qquad (۲-ج)$$

در حالی که R_{Dir} و R_{Ind} ریسک‌های مستقیم و غیر مستقیم مربوط به بخش اول و دوم فرمول (ج-۱) هستند. مقدار شاخص بین صفر و یک است و مقادیر بیشتر نشان دهنده استحکام بیشتر است.

با توجه به اینکه تصمیم بهینه آن تصمیمی است که ریسک کلی را به حداقل برساند که می‌توان با کاهش بخش‌های اول و دوم فرمول (ج-۱) به آن دست‌یافت، دیده شده است که این شاخص استحکام، همواره با تحلیل کامل ریسک در موقعیت‌هایی که میتوان آزادانه تصمیم‌هایی گرفت که بر پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم موثر است، در انطباق نیست.



شکل ج-۲ - مراحل تحلیل یک پیامد

اما، در عمل، آئین‌نامه‌ها و مقررات به طور گسترده به برطرف کردن پیامدهای مستقیم می‌پردازند و در نتیجه با افزایش استحکام عمده پیامدهای غیر مستقیم را برطرف می‌شود.

بدین ترتیب شاخص استحکام می‌تواند مقیاس معیار مفیدی برای استحکام براساس اصول تحلیل ریسک باشد. لازم به ذکر است، از آنجا که ریسک‌های مستقیم معمولا به حالات حدی آئین‌نامه‌ای مربوط هستند، عموما آن‌ها را به نسبت ریسک‌های غیر مستقیم با دقت بالاتری می‌توان تخمین زد.

این شاخص نه تنها ویژگی‌های عملکرد سازه‌ای بلکه عملکرد سامانه بعد از آسیب و همه پیامدهای مربوطه را نیز منظور مینماید. علاوه بر این، تمام تمهیدات (تصمیم‌های جایگزین) برای افزایش عملکرد سازه‌ای در رابطه با استحکام و همچنین برای کاهش آسیب‌پذیری (افزایش قابلیت‌اعتماد اجزا) به روشنی منظور شده‌اند. باید به این موضوع توجه شود که شاخص استحکام نیز همانند قابلیت‌اعتماد سازه‌ای در اصول مشروط هستند. استنباط از شاخص استحکام باید به صورت وابسته به سطح قابل اطمینان هر یک از اجزا یا مد زوال سامانه (تراز پیامدهای مستقیم) و همچنین نسبت پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم باشد. قابلیت‌اعتماد اجزای سازه‌ای و مدهای زوال وابسته به مدل‌سازی احتمالاتی و بهترین دستاوردهای فناوری و طراحی است.

ریسک‌های مشروط به وقایع تخریب در اثر خطر و شاخص‌های مشروط متناظر با استحکام، در مواردی که درک مناسبی از خطر وجود نداشته یا قابل کمی سازی در چارچوب احتمالات نیستند، به تصمیم‌گیری کمک می‌کنند. در چنین مواردی ، استحکام سازه‌ای را می‌توان با فرض اینکه خطر به وقوع پیوسته و منجر به خساراتی با سطح از پیش تعیین شده گردیده است، مورد بحث قرارداد. خصوصیات آن با بردار حالت آسیب D= (D,…Dn) بیان می‌شود که در آن n شمار حالت‌های آسیب مشخص شده برای اجزای سامانه سازه‌ای است. در این صورت ریسک مشروط متناظر را می‌توان به صورت زیر تعیین نمود:

$$R|_D = \sum_j C_{dir,j} P(D_j) + \sum_k \sum_j C_{ind,k} P(S_k|D_j) P(D_j) \qquad (ج-۳)$$

در جائی که حالات آسیب درنظر گرفته شده با قراردادن احتمال وقوع آن‌ها برابر ۱ به سامانه اعمال می‌شوند.

ج-۴-۶ اقدامات جایگزین مرتبط با استحکام

به عنوان جایگزینی برای شاخص استحکام مبتنی بر ریسک، یک شاخص افزونگی مبتنی بر قابلیت‌اعتماد (RI) (فرانگوپول و کرلی،۱۹۸۷) را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود:

$$RI = \frac{P_{f(damaged)} - P_{f(intact)}}{P_{f(intact)}} \qquad (ج-۴)$$

که در آن:

$P_{f(damaged)}$ احتمال زوال برای یک سامانه سازه‌ای آسیب دیده و $P_{f(intact)}$ احتمال زوال برای یک سامانه سازه‌ای سالم است.

این شاخص افزونگی، میزانی برای افزونگی سامانه سازه‌ای فراهم می‌کند. این شاخص می‌تواند مقادیر بین صفر تا بی‌نهایت را به خود اختصاص دهد، بدین صورت که مقادیر کوچک تر نشان دهنده استحکام بیشتر است.

در آخر ، یک میزان ساده و کاربردی برای افزونگی سازه‌ای به نام ضریب تاثیر مازاد(RIF) وجود دارد که در صنعت دریایی استفاده می‌شود(ایزو ۱۹۹۰۲).

در آن یک نسبت تاب ذخیره (RSR) به صورت زیر تعریف شده است :

$$RSR = \frac{R_c}{S_c} \qquad (ج-۵)$$

که در آن:

R_c نشانگر مقدار مشخصه ظرفیت برشی پایه یک سکوی دریایی است (معمولا دکل‌های فلزی).

S_c بار طراحی مربوط به حالت حالت حدی نهایی است.

برای اندازه‌گیری اثر آسیب کامل (یا از دست رفتن کارایی) عضو سازه‌ای "i" بر ظرفیت سازه‌ای، مقدار " RIF" (که گاهی به آن نسبت تاب پس از آسیب گفته می‌شود) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$RIF_i = \frac{RSR_{fail,i}}{RSR_{intact}} \qquad (ج-۶)$$

که در آن :

RSR_{intact} مقدار RSR سازه سالم است.

$RSR_{fail,i}$ مقدار RSR سازه در زمانی است که عضو"i" یا زوال یافته و یا حذف شده است.

مقدار RIF بین صفر تا یک است که مقادیر بیشتر نشان دهنده افزونگی بزرگتر هستند.

پیوست چ
(آگاهی‌دهنده)
بهینه سازی و معیار ایمنی جانی

چ-۱ مقدمه

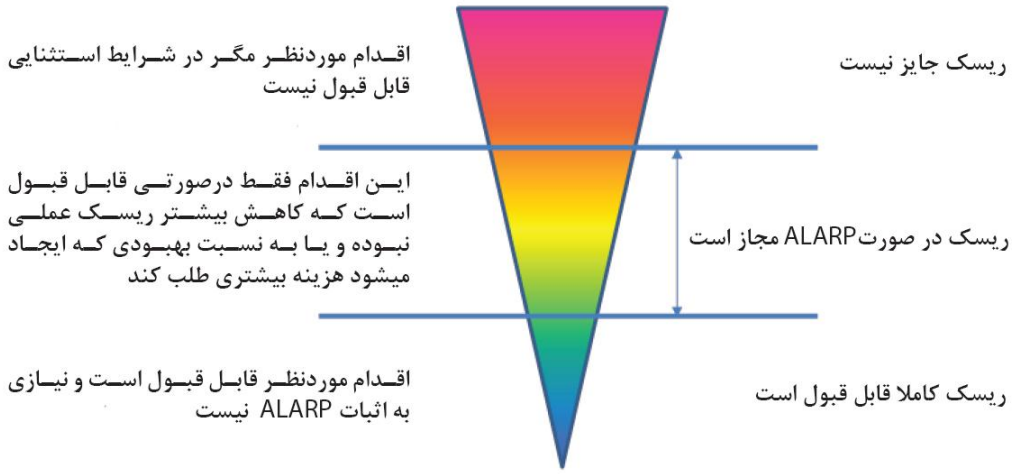
به جهت اطمینان از همخوانی تصمیمات قابل اجرا و بهینه از نظر اقتصادی با منافع و اولویت‌های اجتماع درخصوص سلامت و ایمنی جانی، شرایط پذیرش چنین تصمیماتی در ۴-۴-۲-۱ تعیین می‌شود. ملاک عملی برای تحقق این امر، اصل هزینه مرزی نجات زندگی (MLSC) است که مشخص می‌کند تصمیمات موثر بر ایمنی جانی، درصورتی قابل قبول هستند که هزینه‌های مترتب بر نجات یک نفر دیگر، متناسب با تمایل جامعه برای نجات یک فرد آماری باشد. اصول هزینه مرزی نجات زندگی را با استفاده از شاخص کیفیت زندگی (LQI) می توان به خوبی در عمل بکارگرفت.

در این پیوست به جنبه‌های مهم استفاده عملی ۴-۲-۲ و ۴-۴-۲-۱ اشاره شده است ازجمله موارد زیر:

- چگونه این اصول را به بهترین کاربردهای حاضر ارتباط داد؛
- چگونه مقدار مورد انتظار منافع را بعنوان مبنای بهینه سازی محاسبه کرد؛
- چگونه مقدارحدی هزینه نجات زندگی براساس شاخص کیفیت زندگی(LQI) را محاسبه کرد؛
- چگونه این اصول را در عمل به کاربرد.

چ-۲ ارتباط بین اصول هزینه مرزی نجات زندگی(MLSC)[1] و بهترین کاربرد حاضر

در حال حاضر،معیارهای نظارتی مربوط به خطرپذیری قابل قبول ایمنی جانی معمولا در چارچوب کمترین حد ممکن/عملی(ALARP) مشخص می‌شود. ایده اصلی این است که خطرپذیری‌ها را بر اساس اندازه آن‌ها، بصورتی که در تصویر چ-۱ همراه با چارچوب ALARP تشریح شده است میتوان تحت عناوین قابل صرفنظر، قابل تحمل یا غیرقابل قبول ارزیابی نمود.



شکل چ-۱ - تشریح اصول معمول ALARP در مقررات خطرپذیری ایمنی جانی

1- Marginal Lifesaving Cost

برای تشریح بیشتر، معیارهای خطرپذیری به همان صورت که در چارچوب ALARP در کشورهای اروپایی اعمال می‌شود در جدول چ-۱ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود تفاوت‌هایی در انتخاب معیارهای خطرپذیری بین کشورها وجود دارد.

علاوه بر ALARP، اصل پیشگیری شایان توجه است. این اصل که در مفاد مقررات خطرپذیری اروپا تبدیل به رابطه شده‌اند در حال حاضر در بخش بزرگی از دنیا اعمال می‌شوند. اصل مورد بحث را میتوان بعنوان اقدامی جهت حفاظت از جامعه در مقابل پیشرفت‌هایی(فنی) که عواقب نامتناسب بزرگی برای جامعه دارند، تفسیر نمود. کاربرد اصل پیشگیری در رابطه با ارزیابی فعالیت‌هایی است تجارب قبلی از آن‌ها در دست نبوده و تردیدهایی در خصوص عواقب منفی غیرقابل قبول آن‌ها وجود داشته باشد. در چنین مواردی،لازم است اطلاعات بیشتری جمع‌آوری شود تا چنین فعالیت‌هایی با استفاده از بهترین فناوری‌های عملی کنترل و مدیریت شود.

می‌توان مشاهده نمود که چارچوب کلی ALARP به اصل هزینه حدی نجات زندگی بسیار نزدیک است. هرچند برای اطمینان از این امر، تفسیر مشخص و معینی از چارچوب ALARP لازم است.

جدول چ-۱ - مروری بر معیارهای خطرپذیری در چارچوب نرخ مرگ و میر سالانه در اروپا

نرخ تلفات سالانه	انگلستان	هلند	مجارستان	جمهوری چک
10^{-4}	حد غیر قابل تحمل برای افراد جامعه			
10^{-5}	ناحیه ALARP	حد برای نصب های موجود	حد بالا	حد برای نصب های موجود . کاهش خطرپذیری باید انجام شود
3×10^{-6}	معیار نقشه کاربری زمین		حد پائین	حد برای نصب های جدید
10^{-6}	قابلیت قبول گسترده	حد برای نصب های جدید و حد عمومی پس از ۲۰۱۰ (ALARP)		

کاربرد اصول هزینه مرزی نجات زندگی در چارچوب ALARP را میتوان بصورت زیر رابطه‌بندی کرد:

الف-تصمیمات و فعالیت‌های مرتبط با خطرپذیری جانی باید توجه اصولی که در ادامه ذکر خواهدشد ارزیابی شود، مگر آنکه بصورت مستند براساس استاندارد معتبر دیگری انجام شده باشد یا خطرپذیری بطور مستند قابل صرفنظر باشد.

ب- تحلیل خطرپذیری باید براساس بهترین شیوه‌ها مانند آنچه در "ارزیابی خطرپذیری در مهندسی-اصول"، "ضوابط خطرپذیری و نمایش سامانه (JCSS2008)" و استانداردهای مربوطه اشاره شده انجام شود.

ج- ارزیابی فعالیت‌ها باید در انطباق با اصول هزینه مرزی نجات زندگی و با درنظرگرفتن پذیرش اجتماعی صورت‌پذیرد. باید نشان داد که خطرپذیری ایمنی جانی با بهره‌گیری از بهترین اقدامات فنی، سازمانی و فرایندی به میزانی کاهش یافته است که کاهش بیشتر آن به هزینه‌ای بیش از هزینه مرزی نجات زندگی(به گونه‌ای که در چ-۴ تشریح شده است) منجر می‌شود. اقدامات کاهش خطرپذیری بعنوان یک اصل باید با بهره‌گیری از بهترین تجارب عملی بصورتی که در آئین‌نامه‌ها و استانداردها تشریح شده است انجام شود مگر آنکه بتوان توجیه نمود که برای آن موقعیت خاص نامناسب یا غیرکارا هستند.

د- ارزیابی هر فعالیتی که قابل قبول تشخیص داده می‌شود باید تراز مطلق خطرپذیری ایمنی جانی متناظر آن لحاظ گردد. اگر تراز مطلق خطرپذیری ایمنی جانی از یک مقدار آستانه‌ای تجاوز کند، باید ارزیابی خاص در زمینه پیروی از بهترین شیوه در تمام مراحل ارزیابی، انجام شود.

علاوه بر این، باید ارزیابی شود که آیا در مورد مدنظر، بهترین شیوه آزمون استفاده شده است یا لازم است پس از تبعیت از اصول پیشگیرانه ارزیابی‌های بیشتر صورت پذیرد. اگر موارد فوق وارد نباشد آن فعالیت قابل قبول درنظر گرفته می‌شود.

هرچند اصل هزینه مرزی نجات زندگی، تعیین مقادیر مطلق برای خطرپذیری ایمنی جانی را الزام نکرده و حتی مجاز نمیداند، بکارگیری آن در عمل می‌تواند نیازمند چنین حدودی باشد. قبل از هر چیز بمنظور تضمین اینکه نیاز به ارزیابی خطرپذیری کامل کمی الزامی نیست مشروط به آنکه خطرپذیریها کوچک بوده و خطرپذیریهای ایمنی جانی از طریق مقررات، آئین‌نامه‌ها و استانداردهای اغلب پیشگیرانه بخوبی مدیریت شده باشند. دوم برای اطمینان از اینکه چنانچه خطرپذیری‌های مطلق در مقایسه با خطرپذیری کلی به واقع بزرگ باشند، خود ارزیابی منطبق با آخرین پیشرفتها انجام شود و فعالیت مورد نظر در رده فعالیتهایی که باید تحت اصول پیشگیرانه ارزیابی شوند، قرارنگیرد.

نهایتا، به صورتی که در چ-۵ تشریح شده‌است، می‌توان از تراز خطرپذیری که با سرمایه‌گذاری لازم در ایمنی جانی متناظر باشد، بعنوان مبنایی برای واسنجی آئین‌نامه طرح سازه بهره‌جویی کرد.

چ-۳ چگونگی محاسبه ارزش مورد انتظار منافع بعنوان مبنای بهینه‌سازی

چ-۳-۱ کلیات

در زمینه محاسبه ارزش مورد انتظار منافع لازم است بین دو موقعیت تمایز قائل شد، ۱) موقعیتی که یک شرکت یا مالک خصوصی تصمیمات مربوط به طرح یک سازه را بهینه سازی می‌کند و ۲) شرایطی که مقامات دولتی یا کمیته های تدوین آئین‌نامه، طرح سازه را بهینه‌سازی کرده یا آئین‌نامه‌های طرح بهینه را (به صورتی که در پیوست ث تشریح شد) واسنجی می‌کنند.

چ-۳-۲ حالت مالکیت خصوصی

در مورد مالکیت خصوصی، این که در محاسبه منافع چه مواردی و چگونه باید لحاظ و محاسبه شوند، کاملا به سازوکار بازار آزاد و مشوق‌هایی که از طرف ادارات دولتی اعمال می‌گردد، واگذار می‌شود. درآمدهای احتمالی ناشی از یک سازه قویا بستگی به موقعیت خاص موجود، برنامه مالی پروژه و چارچوب قراردادی آن بستگی دارد. در مورد هزینه‌ها، پیشنهاد می‌شود اقلام زیردرنظرگرفته شوند:

- هزینه‌های طرح و تضمین کیفیت؛

- هزینه‌های اجرا؛
- هزینه‌های بازرسی و نگهداری؛
- هزینه‌های وقفه و عدم کارکرد؛
- هزینه‌های تعمیر؛
- هزینه‌های زوال یا بازسازی؛
- هزینه‌های جبران خسارت(مرگ یا جراحت، آسیب به محیط زیست و همچنین هر مزاحمت و یا خسارت به اشخاص ثالث) یا هزینه بیمه‌های جایگزین خسارت؛
- هزینه‌های از دست دادن اعتبار و
- هزینه‌های برچیدن و تخریب.

پیشنهاد شده است که موارد هزینه‌ای فوق در یک ارزیابی خطرپذیری برمبنای چرخه عمر گنجانده شوند، که در آن ارزش مورد انتظار هزینه‌ها، با درنظرگرفتن احتمال وقوع درچرخه عمر مورد نظر محاسبه می‌گردد و به شکل مناسب به ارزش خالص فعلی آن‌ها تنزیل می‌یابد.

چ-۳-۳ حالت مالکیت عمومی

در مواردی که مالکیت عمومی است، یعنی حالت معمول استانداردسازی، توصیه می‌شود که منافع بر اساس بهترین دانش قابل دسترسی روز در رابطه با منافع اجتماعی ناشی از سازه تحت اجرا، محاسبه شود، خواه پروژه خاصی مدنظر باشد یا پروژه‌های عمومی‌تری که در آئین‌نامه‌های طراحی و مقررات مربوطه مشخص شده باشند.

در این حالت همه موارد هزینه‌ای پیش گفته باید با درنظر گرفتن احتمال رخ دادن آن‌ها، در محاسبه منافع چرخه عمر گنجانده شوند. برای این منظور باید از ارزیابی‌های خطرپذیری و قابلیت‌اعتماد بهره‌جویی شود. چرخه عمر باید با لحاظ نمودن کامل مشخصات طرح سازه موردنظر ارزیابی شود. در مورد تک پروژه‌ها، منطقی است که چرخه عمر را در انطباق با عمر بهره‌دهی سازه مشخص در نظر گرفته‌شود. هرچند بطور کلی و خصوصا در مورد آئین‌نامه‌های طراحی، توصیه می‌شود که تمرکز چرخه عمر فقط براساس عمر بهره‌دهی سازه های منفرد نبوده بلکه بر اساس مدت نیازی که سازه‌ها درنظر است برآورده سازند، باشد. این مورد در عمل مربوط به عمرهای بهره‌دهی مازاد بر۱۰۰ سال است.

برای اطمینان از پایداری اجتماعی-اقتصادی، در محاسبه ارزش خالص فعلی هزینه‌های چرخه عمر، تنزیل باید بر اساس یک ارزیابی دقیق طولانی مدت نرخ رشد اقتصادی انجام شود که در حال حاضر برای اکثر اقتصادهای پیشرفته بین ۱درصد تا ۳ درصد در سال و در بسیاری از اقتصادهای درحال توسعه، در حدود ۵ درصد تا ۸ درصد در سال است.

چ-۴ چگونگی محاسبه مقدار حدی هزینه‌های نجات زندگی براساس شاخص کیفیت زندگی

چ-۴-۱ کلیات

شاخص کیفیت زندگی حدود ۱۵ سال پیش ارائه شد. فلسفه وجودی آن این است که اولویت یک اجتماع در رابطه با سرمایه‌گذاری بر روی سلامت و پیشبرد ایمنی جانی را می‌توان در چارچوب امید به زندگی در بدو تولد، سرانه تولید ناخالص ملی و نسبت زمان کار و استراحت، بیان نمود. با اینکه LQI در اصل بر پایه

ملاحظات نظری اجتماعی-اقتصادی ارائه شده است، صحت آن متعاقباً به صورت تجربی نشان داده شده است. شاخص کیفیت زندگی موجب تسهیل ارزیابی تصمیمات در خصوص انطباق آن‌ها با اولویت‌های اجتماعی در رابطه با سرمایه‌گذاری در زمینه ایمنی جانی، می‌گردد. بر اساس LQI، این امکان وجود دارد تا مقدار حدی هزینه‌های نجات زندگی، یعنی هزینه‌های ضروری و قابل دستیابی که باید برای نجات جان هر شخص سرمایه گذاری شود را بدست آورد. رویکردهای جایگزین در زمینه اقتصاد، مانند برآورد ارزش زندگی مشروط، نیز نتایج مشابهی با نتایج LQI داشته‌اند.

هزینه مرزی نجات زندگی بصورتی که از طریق LQI ارزیابی می‌شود، به ظرفیت اقتصادی و اولویت‌های جامعه مورد نظر برای سرمایه‌گذاری بر روی ایمنی جانی و همچنین تاثیر اقدامات نجات زندگی بر جمعیت بستگی دارد. این موضوع سوال‌های زیر را به وجود میاورد:

- ظرفیت اقتصادی و اولویت‌های جامعه چگونه بر هزینه‌های مرزی نجات زندگی تاثیر دارد؟
- چگونه اثر یک اقدام نجات زندگی را بر روی جمعیت محاسبه کنیم؟

برای پاسخ به این پرسش‌ها، مبنای روش LQI در ادامه به اختصار ارائه شده است(به مرجع ۱۱ مراجعه شود).

چ-۴-۲ ارزیابی هزینه‌های مرزی نجات زندگی بر مبنای LQI

LQI را می‌توان به شکل اصلی زیر نشان داد:

$$L\,(g,e) = g^{q}e \qquad (۱-چ)$$

که در آن:

g سرانه تولید ناخالص ملی است؛

e امید به زندگی؛

q مقیاس توازن میان منابع موجود برای مصرف و ارزش زمان زندگی سالم است.

q به کسر زندگیw بستگی دارد که نشان‌دهنده میزان فعالیت اقتصادی بوده (نسبت وقت کار به وقت آزاد که معمولا بین ۰/۱۸ تا ۰/۲۰ است) و علاوه بر آن گویای این واقعیت است که بخشی از GDP از طریق کار محقق می‌گردد و بخش دیگر آن از طریق بازگشت سرمایه. e وw در مقیاس‌های ملی ارزیابی می‌شوند.

ثابت q به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$q = \frac{w}{1-w}\beta \qquad (۲-چ)$$

که در آن:

β ثابت ارتجاعی کاب-داگلاس است و اینجا معادل ۰/۷ منظور می‌شود.

تمایل جامعه به پرداخت(SWTP) و ارزش اجتماعی متوسط زندگی(SVSL) را میتوان بدین صورت تعیین نمود:

$$SWTP = \frac{g}{q}\frac{de_d}{e_d} \approx \frac{g}{q}C_x dm = G_x dm \qquad (۳-چ)$$

$$SVSL = \frac{g}{q}e_d \qquad (۴-چ)$$

در حالی که e_d امید به زندگی تنزل یافته بر اساس میانگین سنی است،C_x ثابت جمعیت‌شناسی برای رژیم مرگ و میر بخصوص x است و G_x ، تمایل جامعه به پرداخت برای تغییر یک واحد در مرگ و میر m است. در ارزیابی e_d، میانگین‌گیری سنی برای محاسبه تاثیر استراتژی‌های مختلف پیشرفت ایمنی جانی بر گروه های مختلف سنی، تعرف می‌شود. تنزیل هم برای لحاظ این نکته معرفی می‌شود که زندگی‌های مورد بحث در آینده نجات خواهند یافت.

تمایل جامعه به پرداخت(SWTP)[1] متناظر با مقدار پولی است که باید برای نجات جان یک فرد دیگر در یک فعالیت کاهش خطرپذیری معلوم سرمایه‌گذاری شود. ارزش اجتماعی متوسط زندگی (SVSL)[2] متناظر با مقدار غرامتی است که برای جبران هر مرگ‌ومیر باید پرداخت‌شود. SVSL به صورتی در اینجا ارائه می‌شود می‌تواند به عنوان مقداری بعنوان راهنما در نظر گرفته شود. سامانه‌های قانونی مختلف در کشورهای مختلف منجر به شیوه‌های متفاوتی برای جبران خسارت می‌گردد.

در زمان پیاده سازی کاهش خطرپذیری جانی به عنوان بخشی از استراتژی طراحی در زمینه ساختمان‌های منفرد و همچنین برای کالیبراسیون آئین‌نامه‌های طراحی، همانطور که اشاره شد، تاثیرات کاهش خطرپذیری برای گروه‌های سنی مختلف افراد در جامعه می‌تواند متفاوت باشد. این موضوع به نوبه خود بر روی بازده کاهش خطرپذیری جانی از منظر اجتماعی تاثیر می‌گذارد. برای در نظر گرفتن این موضوع در ارزیابی، امید به زندگی تنزل یافته بر اساس میانگین سنی را می‌توان به چارچوب‌های اصلی متفاوتی از کاهش خطرپذیری جانی یک استراتژی طراحی بگونه‌ای که روی جمعیت اندازگیری شده، محاسبه نمود. این موارد به عنوان برنامه کاهش مرگ و میر شناخته می‌شوند.

در اینجا دو قاعده مختلف برای کاهش مرگ و میر برای محاسبه SWTP و SVSL لحاظ شده است، هرچند موارد دیگر نیز در صورت مناسب بودن می‌توانند تعیین رابطه شده و مورد استفاده قرار گیرند. اولین روش، روش π است که بر روی مواردی اعمال می‌شود که استراتژی طراحی با توجه به کاهش خطرپذیری زندگی با تغییر متناسب مرگ و میر بر روی توزیع سنّ در ارتباط است .روش Δ حالتی است که در آن تغییر در مرگ ومیر مربوط به استراتژی طراحی کاهش خطرپذیری جانی به طور یکنواخت روی همه سنین توزیع شده است. روش دلتا برای بیشتر موارد مربوط به ایمنی سازه‌ای مناسب است که در آن‌ها اقدامات کاهش خطرپذیری معمولا تاثیر مشابهی به روی همه افراد مستقل از سنشان دارند. جزئیات چگونگی محاسبه G_Πو G_Δ بر مبنای اطلاعات موجود از جدول زندگی کوهورت در مرجع ۵ ارائه شده است.

در جدول چ-۲ نتایج متناظر با نرخ‌های تنزیل سالیانه ۲ درصد، ۳ درصد و ۴ درصد برای کشورهای انتخابی مختلف آورده شده است (به مرجع ۵ نیز مراجعه شود) مقادیر SVSL متناظر نیز ارائه شده است. در محاسبات فرض شده که تمام GDP برای کاهش خطرپذیری زندگی قابل دسترسی است.

جدول چ-۲ هزینه‌های مرزی نجات زندگی (تمام اعداد بر اساس هزار دلار آمریکا هستند) برای کشورهای مختف انتخابی، روش‌های مختلف کاهش خطرپذیری جانی و نرخ‌های متفاوت تنزیل سالانه بر اساس اعداد ارائه شده در جدول چ-۲ انطباق تصمیم‌گیری‌های مربوط به سازه‌ها می‌تواند با توجه به اولویت‌های اجتماعی برای سرمایه‌گذاری در ایمنی جانی به صورت کلی ارزیابی شود. برای این منظور، عموما ارزیابی‌های کامل

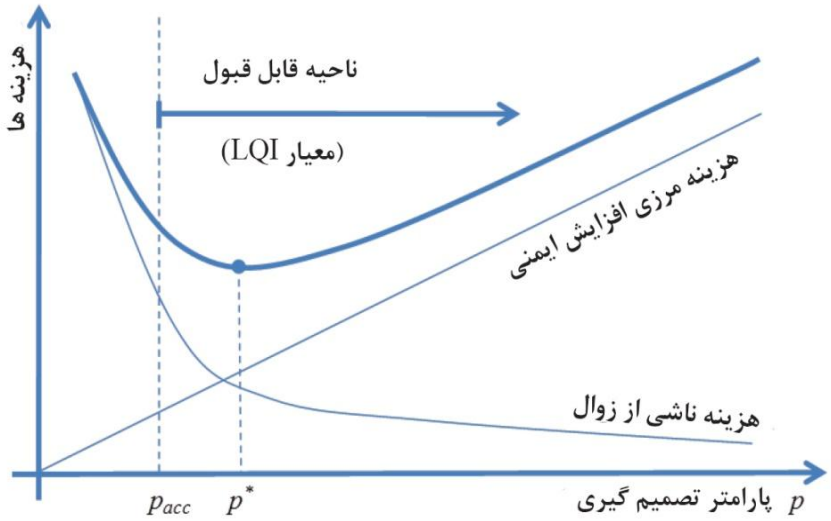
خطرپذیری به همان صورت که در "ارزیابی خطرپذیری در مهندسی-اصول"، "ضوابط خطرپذیری و نمایش سامانه (JCSS2008)"تشریح شده ، ضروری است.

1- Societal Willingness To Pay
2- Societal Value of a Statistical Life

مثال‌هایی از چگونگی ارزیابی تصمیم‌ها در هر دو حالت گسسته و پیوسته جایگزین در http://www.jcss.byg.dtu.dk/ در دسترس است. در ادامه به این که هزینه‌های مرزی نجات زندگی چگونه می‌توانند به روش ساده‌تری اعمال شوند اشاره شده است که برای بیشتر سازه‌های معمول کفایت می‌کند.

چ-۵ چگونه از اصل در این بررسی استفاده کنیم

به طور خلاصه، فرایند طرح سازه‌ای را می‌توان به عنوان بهینه‌سازی (مقدار مورد انتظار) منافع یا به حداقل رساندن هزینه‌های مربوط با لحاظ محدودیت‌ها در نظر گرفت. محدودیت‌ها هستند که سرمایه‌گذاری متناسب و قابل تامین برای ایمنی جانی را تضمین می‌کنند (به شکل چ-۲ مراجعه شود).



شکل چ-۲ - معیار پذیرش LQI به عنوان شرایط مرزی برای بهینه سازی مالی

در بالا، تاکید بیشتر بر روی محدودیت‌های مربوط به خطرپذیری‌های ایمنی جانی بود، اما محدودیت‌های دیگر مانند خطرپذیری در کیفیت محیط زیست، استفاده از منابع طبیعی، تولید گازهای گلخانه‌ای، ماکزیمم خسارت محتمل و غیره می‌توانند در این روند بهینه سازی همانطور که در بند ۴ اشاره شده، در نظر گرفته شود.

در اصل، برای سازه‌هایی که هیچ خطرپذیریی جانی ندارد، تصمیم‌گیری برای طرح و ارزیابی می‌تواند فقط بر اساس دیدگاه بهینه‌سازی اقتصادی اخذ شود. اما در عمل، چنین موقعیت‌هایی حتی اگر وجود داشته باشند، بسیار نادر هستند. همه سازه‌ها مقداری خطرپذیری ایمنی جانی در طول بخشی از بهره‌دهی خود دارند.

وقتی که بهینه سازی چرخه عمر در چارچوب اقتصادی انجام شود، در خطرپذیری‌های متناظر باید تلفات جانی احتمالی را در هزینه‌های غرامت مثلا با استفاده از SVSL محسوب نمود. زمانی محدودیت‌های سرمایه‌گذاری در ایمنی زندگی لحاظ می‌شود، باید از SWTP استفاده شود، بدین معنا که باید نشان داده

شود که در استراتژی طرح پیاده سازی شده، هزینه‌های مرزی نجات زندگی یک فرد اضافه در محدوده میزان SWTP قرارگرفته است. هزینه‌های مرزی نجات زندگی بیشتر از SWTP در اصل قابل تامین نیستند، اما اگر در بهینه سازی مالی لازم باشد می‌توان آن‌ها را منظور نمود. هزینه‌های مرزی (هزینه‌های ایمنی در چ-۲) کمتر از SWTP قابل قبول نیستند. همان گونه که در چ-۲ نشان داده شده، اصل هزینه مرزی می‌تواند مستقیما در چارچوب ALARP اعمال شود.

در تصمیم‌گیری طرح منفرد با در نظر داشتن سازه‌ها و پروژه‌های خاص، این مرحله سر راست است. بهر جهت، برای پرهیز از سرمایه‌گذاری مخاطره‌آمیز و متناقض، راستی آزمایی ALARP بر اساس یک برنامه کنترل شده از اهمیت زیادی برخوردار است.

برای جلوگیری از مخاطرات سرمایه‌گذاری برای سازمان‌های خصوصی، حاصل شدن اطمینان شود از این که ارزیابی هزینه‌های مربوط به فعالیتهای نجات زندگی، بصورت مرزی ارزیابی شده اند و ضررهای بالقوه برای سازمان‌های خصوصی مرتبط حذف شده باشند. چنانچه این ضررها درهزینه‌های مربوط به اقدامات نجات زندگی گنجانده می‌شوند، باید به هزینه‌های اجتماعی محدود باشند. به علاوه، در ارزیابی هزینه‌های نجات زندگی، مرجع زمان اعمال شده در محاسبه هزینه‌های خالص فعلی باید درحدود ۱۰۰ سال(شامل طولانی‌ترین زمانی عمر اشاره شده در جدول زندگی کوهرت) باشد. این موضوع نیازمند درنظر داشتن این واقعیت است که الزامات قانونی مانند حال حاضر نمی‌تواند بصورت مجزا برای یک پروژه یا سازه خاص دیده شود، بلکه لازم است مجموعه‌ای از پروژه‌ها و سازه‌ها را درنظر داشت.

بر اساس هزینه‌های مرزی نجات زندگی که در جدول چ-۲ آمده است، امکان انجام بررسی پارامتری برای ارزیابی خطرپذیری ایمنی جانی وجود دارد که متناظر با تصمیم‌های طراحی مطابق با اصول هزینه‌های مرزی نجات زندگی است. اینچنین مطالعات پارامتری، استفاده از اصول هزینه‌های مرزی نجات زندگی برای تعیین معیار پذیرش قابلیت‌اعتماد مربوط به ایمنی جانی در آئین‌نامه‌های طراحی را تسهیل می‌کند. مطالعات پارامتری می‌توانند آن‌چنان مناسب انجام شوند که هزینه‌های افزایش ایمنی جانی نسبت به هزینه های مقطوع طراحی و اجرا متغیر باشند. به علاوه، این مطالعات می‌توانند برای موقعیت‌های متفاوت با درنظر داشتن پیامدها، عدم‌قطعیت و متغیر بودن و همچنین دیگر خصوصیات مربوط به بارها و مقاومت سازه‌های مورد نظر انجام شوند.

چ-۵-۱ بیشینه احتمالات زوال هدف قابل قبول

در حالتی که رویداد زوال را بتوان از طریق تابع حالت حدی به شکل زیر نشان داد، مشکل بهینه سازی تحت محدودیت می‌تواند به صورت ایده‌آلی بهبود یابد.:

$$g = R - S \qquad (۵\text{-چ})$$

که در آن:

R و S متغیرهای اتفاقی بوده و بترتیب نشان دهنده مقاومت و بار هستند.

با تعریف پارامتر تصمیم‌گیری p به عنوان نسبت بین مقدار مورد انتظار مقاومت به مقدار مورد انتظار بار، خواهیم داشت:

$$p = \frac{E[S]}{E[R]} \qquad (۶-چ)$$

ضابطه پذیرش LQIمی‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$-\frac{dp_f(p)}{dp} \leq \frac{C_1(\gamma_s + \omega)}{g/q \,.\, C_x . N_F} = \frac{C_1(\gamma_s + \omega)}{G_x . N_F} = K_1 \qquad (۷-چ)$$

که در آن:

C_1 هزینه‌های مرزی مربوط به یک اقدام ایمنی مورد نظر است؛

γ_s نرخ سود مربوط برای تصمیم‌گیری به جای جامعه است (مثلا نرخ رشد اقتصادی که با مدارا انتخاب شده)؛

ω نرخ سالانه استهلاک است؛

N_F تعداد مرگ و میر مورد انتظار در اثر زوال سازه است.

بقیه موارد همانند آنچه در چ-۴-۲ تعریف شده هستند.

صورت کسر سمت راست نامساوی، $C_1(\gamma_s + \omega)$ ، نشان می‌دهد که هزینه ایمنی سالیانه با یک واحد افزایش در ضریب ایمنی جهانی ρ به چه میزان بالا می‌رود(γs می‌تواند به عنوان هزینه اقتصادی و ω به عنوان هزینه بازسازی سازه در صورت از استهلاک استنباط شوند). برای مخرج کسر، پیامدهای انسانی زوال سازه N_F با ضرب درSWTP برای نجات یک زندگی دیگر، به واحدهای مالی تبدیل شده است. قابلیت‌اعتماد هدف LQI اکنون می‌تواند بصورت تابعی از ثابت K_1 برای مدل‌های احتمالاتی داده شده R و S بدست آید.

با فرض اینکه هم مقاومت و هم بار توزیع لگ-نرمال داشته و ضرایب تغییرات V هم برای R و هم S در بازه ۰/۱ و ۰/۳ قراردارد؛ احتمال زوال سالیانه هدف زیر (جدول چ-۳) را می‌توان به عنوان تابعی از ثابت K_1 در رابطه (چ-۷) دریافت.

جدول چ-۳ – حداقل قابلیت‌اعتماد هدف تجربی، مربوط به دوره مرجع یکساله و حالت حدی نهایی، بر اساس ملاک پذیرش LQI

هزینه نسبی نجات زندگی	محدوده عدد ثابت K_1	قابلیت‌اعتماد هدف LQI
بزرگ	$۱۰^{-۳} - ۱۰^{-۲}$	$\beta = 3.1\ (P_f \approx 10^{-3})$
متوسط	$۱۰^{-۴} - ۱۰^{-۳}$	$\beta = 3.7\ (P_f \approx 10^{-4})$
کوچک	$۱۰^{-۵} - ۱۰^{-۴}$	$\beta = 4.2\ (P_f \approx 10^{-5})$

احتمال هدف زوال برای ضرائب تغییرات بزرگتر از متغیرهای پایه را می‌توان با ضریب ۵ افزایش داد. از سوی دیگر، برای تغییرات کمتر باید با ضریب ۲ کاهش یابد.

چ-۵-۲ قابلیت‌اعتماد هدف بر مبنای بهینه سازی اقتصادی

آئین‌نامه مدل احتمالاتی ارائه شده توسط کمیته مشترک ایمنی سازه‌ای (JCSS) قابلیت‌اعتماد هدف تجربی برای رده‌های سازه‌ای مختلف را برمبنای بهینه‌سازی اقتصادی ارائه می‌دهد، (به جدول چ-۴ مراجعه شود). قابلیت‌اعتماد هدف، بصورت تابعی از هزینه‌های اقدامات کاهش خطرپذیری و پیامدها در صورت زوال که

هردو به نسبت هزینه‌های اجرای سازه موردنظر تعریف شده‌اند. قابلیت‌اعتماد هدف به رویدادهای زوال سازه مرتبط هستند و بنابراین می‌توانند با تنظیم پیامدهای زوال، برای رویدادهای مختلف از زوال اجزا گرفته تا فروریزی موضعی یا کامل مورد استفاده قرارگیرند. قابلیت‌اعتماد بهینه سامانه سازه‌ای کلا همانطور که در جدول چ-۴ ارائه شده است، می‌تواند به هزینه‌های ایمنی و پیامدهای عمومی زوال مربوط باشد.

جدول چ-۴ – قابلیت‌اعتماد هدف تجربی در رابطه با یک دوره مرجع یکساله و حالات حدی نهایی بر مبنای بهینه سازی مالی

هزینه نسبی اقدامات ایمنی	پیامدهای زوال (رده ها از جدول ج – ۱)		
	رده ۲	رده ۳	رده ۴
بزرگ	$\beta = 3.1\ (P_f \approx 10^{-3})$	$\beta = 3.3\ (P_f \approx 5 \times 10^{-4})$	$\beta = 3.7\ (P_f \approx 10^{-4})$
متوسط	$\beta = 3.7\ (P_f \approx 10^{-4})$	$\beta = 4.2\ (P_f \approx 10^{-4})$	$\beta = 4.4\ (P_f \approx 5 \times 10^{-6})$
کوچک	$\beta = 4.2\ (P_f \approx 10^{-5})$	$\beta = 4.4\ (P_f \approx 5 \times 10^{-6})$	$\beta = 4.7\ (P_f \approx 10^{-6})$

قابلیت‌اعتماد هدف ارائه شده در جدول چ-۴ باید به عنوان شاخصی برای حمایت از بهینه سازی اقتصادی در نظر گرفته شود و ممکن است برای مواردی که با خطرپذیری‌های ایمنی جانی مرتبط باشد، قابل قبول نباشد. این موضوع همانطور که قبلا تشریح شد، همیشه باید به صورت موردی کنترل شود.

از آنجایی که هزینه‌های مربوط به کاهش خطرپذیری که مبنای قابلیت اعتمادهای هدف در جدول چ-۳ و چ-۴ به گونه متفاوتی تعریف شده‌اند، در ادامه نشان داده می‌شود که چگونه برای رده‌های سازه‌ای خاص، مقدار ثابت K_1 در رابطه (چ-۷) را می‌توان به عنوان تابعی از نسبت بین هزینه‌های کاهش خطرپذیری و هزینه های اجرا، همانند قابلیت‌اعتمادهای ارائه شده در جدول چ-۴ ، محاسبه نمود.

جدول چ-۵ - مقادیر K_1 برای دو نوع از سازه‌های سوئیس با هزینه‌های اجرایی C_0 متفاوت، بصورت تابعی از هزینه‌های نسبی اقدامات ایمنی و پیامدهای انسانی در صورت زوال

(الف) ساختمان اداری، $C_0 = 2'000\ CHF/m2$			
N_F/m^2	هزینه نسبی ایمنی C_1/C_0		
	۰/۰۰۱ (کوچک)	۰/۰۱ (متوسط)	۰/۱ (بزرگ)
۰/۰۰۰۱	۲×۱۰^{-۴}	۲×۱۰^{-۳}	۲×۱۰^{-۲}
۰/۰۰۱	۲×۱۰^{-۵}	۲×۱۰^{-۴}	۲×۱۰^{-۳}
۰/۰۱	۲×۱۰^{-۶}	۲×۱۰^{-۵}	۲×۱۰^{-۴}
۰/۱	۲×۱۰^{-۷}	۲×۱۰^{-۶}	۲×۱۰^{-۵}
(ب) پل، $C_0 = 10\ Milion\ CHF/m2$			
N_F	هزینه نسبی ایمنی C_1/C_0		
	۰/۰۰۱ (کوچک)	۰/۰۱ (متوسط)	۰/۱ (بزرگ)
۰/۱	۱×۱۰^{-۳}	۱×۱۰^{-۲}	۱×۱۰^{-۱}
۱	۱×۱۰^{-۴}	۱×۱۰^{-۳}	۱×۱۰^{-۲}

۱۰	۱×۱۰^{-۵}	۱×۱۰^{-۴}	۱×۱۰^{-۳}
۱۰۰	۱×۱۰^{-۶}	۱×۱۰^{-۵}	۱×۱۰^{-۴}

جدول چ-۵ مقادیر K_1 محاسبه شده بر مبنای رابطه (چ-۷) برای هزینه‌های نسبی مختلف اقدامات کاهش خطرپذیری($C1/C0$) و پیامدهای زوال (NF) را برای دو نوع سازه نمونه با مقادیر مطلق متفاوت، و هزینه های اجرای $C0$ را نشان می‌دهد. جدول چ-۵ (الف) به یک ساختمان اداری معمول در سویس با هزینه اجرایی $C0 = 2'000\ CHF/m^2$ اشاره دارد؛ تعداد مرگ و میر مورد انتظار NF، بر هر متر مربع از مساحت ساختمان تخمین زده شده است. جدول چ-۵ (ب) مقادیر K_1 برای یک سازه(مثلا یک پل) با هزینه های اجرای کل $C0 = 10\ Mio.CHF$ را ارائه می‌کند؛ شمار مرگ و میر NF در اینجا لازم است برای کّل سازه ارزیابی شود.

فرض‌های دیگر در محاسبه مقادیر هر دو نوع سازه عبارتند از نرخ استهلاک سالانه ۲ درصد و نرخ بهره اجتماعی ۳ درصد. مقدار SWTP بر زندگی نجات یافته ۵/۱ میلیون فرانک سوئیس تنظیم شده است.

مقادیر K_1 شامل اطلاعاتی در رابطه با هزینه‌های ایمنی، پیامدهای زوال و SWTP برای ایمنی جانی هستند. حال بر اساس مقادیر K_1 در جدول چ-۵ حداقل قابلیت‌اعتماد هدف متناظر می‌تواند از جدول چ-۴ به دست آید. دیده می‌شود که برای مورد پل که برای آن مقدار مورد انتظار شمار مرگ ومیر در اثر زوال N_F برابر ۱۰۰ بوده و هزینه‌های نسبی اقدامات ایمنی ۰/۰۱ است، ضریب K_1 برابر با $۱۰^{-۵}$ است. در جدول چ-۳ دیده می‌شود که حداقل قابلیت‌اعتماد هدف سالانه β برابر ۴/۲ است.

کتابنامه

[1] Berens A .P., & H ovey P.M. . In: Probabilistic Fracture Mechanics and Fatigue Methods: Applications for Structural Design and Maintenance, ASTM STP 798, (Bloom J .M., & Ekevall
J.C. eds.). American Society for Testing and Materials, 1983, pp. 79–94.
[2] Canisius G. Robust Structural Design for Practicing Engineers, (Ed.), Final Report COST Action TU0601, Robustness of Structures, 2011. http://www.cost.eu/domains_actions/ tud/Actions/TU0601
[3] Ellis H., Jiang M., Corotis R.B. Inspection, maintenance, and repair with partial observability.
J. Infrastruct. Syst. 1995, 1 (2) pp. 92–99
[4] Faber M.H., & Sorensen J.D. Reliability based code calibration — The JCSS approach, Applications
of Statistics and Probability in Civil Engineering, 2003, ISBN 90 5966 004 8
[5] Faber M .H., & V irguez-Rodriguez E . S upporting d ecisions o n g lobal h ealth a nd l ife s afety
investments, 11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil
Engineering, ICASP11. 01-04 August 2011, Zurich, Switzerland.
http://www.staff.dtu.dk/mihf/
Publications/~/media/056B85B198694534B85CA0C71A3DE650.ashx
[6] Ferry Borges J ., & C astanheta M. Structural Safety, course 101. Laboratorio National de, Engenharia Civil, Lisbon, Second Edition, 1971
[7] Fischer K., Bernardo C., Faber M.H. Deriving target reliabilities from the LQI, http://www.jcss.byg.
dtu.dk/upload/subsites/jcss/events/lqi%20symposium/fischerbarnardofaber_lqisymp2012. pdf, LQI-Symposium, DTU Denmark, August 2013
[8] Joint Committee on Structural Safety (JCSS). *Probabilistic Model Code*, ISBN 978-3-909386-79-6,
www.jcss.byg.dtu.dk/Publications/Probabilistic_Model_Code.aspx, 2001
[9] Joint Committee on Structural Safety (JCSS). *Risk Assessment in Engineering — Principles, System*
Representation & Risk Criteria, Edited by M. H. Faber, ISBN 978-3-909386-78-9, http://www.jcss.
byg.dtu.dk/Publications/Risk_Assessment_in_Engineering.aspx, June 2008
[10] Kulhawy F.H., Phoon K.K., Wang Y. Reliability-Based Design of Foundations — A Modern View,
GeoCongress 2012. ASCE, 2012
[11] Nathwani J .S., L ind N ., Pandey M. Affordable Safety by Choice: The Life Quality Method.
University of Waterloo, Waterloo, 1997
[12] Phoon K .K., K ulhawy F .H., G rigoriu M.D. Reliability-based Design of Foundations for
Transmission Line Structures, Report TR-105000, Electric Power Research Institute, Palo Alto
[available online at EPRI.COM], 1995

[13] Phoon K .K., & K ulhawy F.H. Characterization of Geotechnical Variability. Can. Geotech. J.
1999a, 36 (4) pp. 612–624
[14] Phoon K.K., Kulhawy F.H., Grigoriu M.D. Multiple Resistance Factor Design (MRFD) for Spread
Foundations. J. Geotech. Geoenviron. Eng. 2003b, 129 (9) pp. 807–818
[15] Rackwitz R. Optimization — The basis of code-making and reliability verification. Struct. Saf.
2000, 22 (1) pp. 27–60
[16] Sorensen J.D. Reliability-based calibration of fatigue safety factors for offshore wind turbines.
International Journal of Offshore and Polar Engineering. 2012, 22 (3) pp. 234–241
[17] Straub D ., & Faber M .H. R isk-based inspection planning for structural systems. Struct. Saf.
2005, 27 (4) pp. 335–355
[18] EN 1990:2007, *Basis of structural design*
[19] ISO 13822:2010, *Bases for design of structures — Assessment of existing structures*
[21] ISO 13824:2009, *Bases for design of structures — General principles on risk assessment of systems*
involving structures
[21] ISO 19902, *Petroleum and natural gas industries — Fixed steel offshore structures*