



ایمنی سازه‌ها بر پایه  
نظریه قابلیت اعتماد



مؤلفین:

مهندس سید احمد میرشریفی

مهندس حسین بابا



نشر نوآور

میرشریفی، احمد، ۱۳۵۵ -  
ایمنی سازه‌ها بر پایه نظریه قابلیت اعتماد/مولفین احمد میرشریفی،  
حسین بابا.

تهران، نوآور، ۱۳۹۴.  
۲۴۸ ص. جدول، نمودار.  
۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۵۴-۴

فیفا  
واژه‌نامه  
کتابنامه: ص. [۲۲۷]-۲۳۵.

پایداری سازه‌ها  
اطمینان‌پذیری (مهندسی)  
تحلیل سازه‌ها

بابا، حسین، ۱۳۵۵  
۱۳۹۴/۶/۵۶TA ۱۳۹۴/۹ الف ۹/م  
۱۷۱/۶۲۴  
۳۹۴۳۷۱۲

سرشناسه:

عنوان و نام پدیدآور:

مشخصات نشر:

مشخصات ظاهری:

شابک:

وضعیت فهرست نویسی:

یادداشت:

یادداشت:

موضوع:

موضوع:

موضوع:

شناسه افزوده:

رده‌بندی کنگره:

رده‌بندی دیویی:

شماره کتابشناسی ملی:

## ایمنی سازه‌ها بر پایه

## نظریه قابلیت اعتماد

مؤلفین:

ناشر:

شمارگان:

ناظر چاپ:

نوبت چاپ:

شابک:

قیمت:

مهندس سید احمد میرشریفی، مهندس حسین بابا

نوآور

۱۰۰۰ نسخه

محمدرضا نصیرنیا

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۲۵۴-۴

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخر رازی، خیابان شهدای  
ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸،  
طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲ - ۶۶۴۸۴۱۹۱. www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان  
مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور  
می‌باشد. لذا هرگونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع  
چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به  
صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره)  
بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین  
تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

## مرکز پخش:



نشر نوآور

فصل اول: مروری بر تاریخچه نظریه قابلیت اعتماد

- ۱- مقدمه
- ۲- نقش مرکزی آیین‌نامه در فرآیند ساخت و ساز
- ۳- چگونگی ایجاد سطوح و حاشیه ایمنی در آیین‌نامه‌های مختلف از منظر تاریخی
- ۱-۳ روش تنش مجاز
- ۲-۳ طراحی به روش مقاومت نهایی (طراحی پلاستیک)
- ۳-۳ طراحی به روش حالات حدی
- ۴- علت وارد شدن احتمالات در طراحی‌ها و پیدایش روشهای آماری
- ۵- تعریف قابلیت اعتماد و معرفی آیین‌نامه‌های مبتنی بر آمار
- ۶- انواع عدم قطعیت

فصل دوم: مفاهیم پایه آماری در تئوری قابلیت اعتماد سازه‌ها

- ۱- مقدمه
- ۱-۱ مفهوم احتمال و قوانین مربوطه
- ۲-۲ انواع متغیرهای تصادفی و نمایشهای نموداری
- ۲- امید ریاضی و لنگر متغیرهای تصادفی
- ۳- برخی از توابع چگالی احتمال متداول و کاربرد آنها

فصل سوم: مدل آماری بارهای سازه‌ای و نحوه تحلیل آنها

- ۱- مقدمه
- ۲- بارهای ثقلی
- ۱-۲ بار مرده
- ۲-۲ بار زنده
- ۳-۲ بیشترین بار زنده
- ۴-۲ ارزیابی کلی بارهای زنده
- ۵-۲ شکل ساده‌ای از آنالیز آماری بارهای زنده
- ۶-۲ شدت بارهای زنده، تابعی از سطح تاثیر
- ۳- بارهای محیطی
- ۱-۳ بار باد
- ۲-۳ بار برف
- ۳-۳ بار زلزله

- ۴- ترکیب بارها
- ۴-۱ ترکیب بارها (تابعی از زمان)
- ۴-۲ مدل برجس برای ترکیب بارها
- ۴-۳ قانون ترکسترا

### فصل چهارم: مدل آماری مقاومت اعضای سازه‌ای و نحوه تحلیل آنها

- ۱- مقدمه
- ۲- خواص آماری بتن
  - ۲-۱ مقاومت فشاری بتن
  - ۲-۲ مدول یانگ و مدول گسیختگی بتن ( $f_r$ )
  - ۲-۳ مقاومت فشاری بتن در ساختمان
  - ۳- خصوصیات آماری فولاد
- ۳- مقاومت حد جاری شدن فولاد و مدول الاستیسیته
  - ۳-۲ مؤلفه‌های آماری  $F_y$
  - ۴- تأثیر تغییرات ابعاد
- ۵- تعیین تنشهای مجاز بر اساس قابلیت اعتماد مشخص
  - ۵-۱ تعریف احتمال خرابی در آئین نامه WSD
  - ۵-۲ تعیین تنش مجاز با توجه به احتمال خرابی
- ۶- نتیجه‌گیری

### فصل پنجم: ارتباط بین خصوصیات آماری اجزاء سازه‌ای با ...

- ۱- مقدمه
- ۲- تحلیل خطی آماری
- ۳- تحلیل مونت کارلو
- ۴- آنالیز مونت کارلو: تولید اعداد تصادفی مستقل یکنواخت
- ۵- آنالیز مونت کارلو: برای متغیرهای تصادفی مستقل و غیر یکنواخت
- ۶- آنالیز مونت کارلو: تولید اعداد تصادفی برای متغیرها با توزیع نرمال
- ۷- آنالیز مونت کارلو: برای متغیرهای تصادفی نرمال همبسته

### فصل ششم: تحلیل ایمنی سازه‌ها و تعیین شاخص قابلیت اعتماد

- ۱- مقدمه
- ۲- حالات حدی
  - ۲-۱ تعریف خرابی
  - ۲-۲ توابع حالت حدی (توابع عملکرد)
- ۳- بررسی حالت پایه



- ۱-۳ احتمال خرابی
- ۲-۳ فضای متغیرهای حالت حدی
- ۴- شاخص قابلیت اعتماد
- ۱-۴ متغیرهای کاهش یافته
- ۲-۴ تعریف کلی شاخص قابلیت اعتماد
- ۳-۴ شاخص قابلیت اعتماد مرتبه اول - لنگر دوم
- ۱-۳-۴ توابع حالت حدی خطی
- ۲-۳-۴ توابع حالت حدی غیرخطی
- ۴-۴ تفسیر شاخص قابلیت اعتماد مرتبه اول - لنگر دوم (مقدار میانگین)
- ۵-۴ شاخص قابلیت اعتماد هاسوفر - لیند
- ۵- روش راکویتز- فیسلر
- ۱-۵ روش ماتریسی اصلاح شده
- ۲-۵ روش ترسیمی
- ۳-۵ متغیرهای تصادفی همبسته (وابسته)
- ۶- تحلیل قابلیت اعتماد با استفاده از شبیه‌سازی

#### فصل هفتم: قابلیت اعتماد سیستم‌های سازه‌ای

- ۱- مقدمه
- ۲- سیستم‌های سری و موازی
- ۱-۲ سیستم‌های سری
- ۲-۲ سیستم‌های موازی
- ۳-۲ سیستم‌های موازی با اعضای شکل‌پذیر
- ۴-۲ سیستم‌های موازی با اعضای ترد
- ۵-۲ سیستم‌های دوگانه (مرکب)
- ۳- کرانه‌های قابلیت اعتماد برای سیستم‌های سازه‌ای
- ۱-۳ متغیرهای بولین
- ۲-۳ سیستم‌های سری با همبستگی مثبت
- ۳-۳ سیستم‌های موازی با همبستگی مثبت
- ۴-۳ کرانه‌های دیتلیوسن برای سیستم‌های سری
- ۴- سیستم‌ها با همبستگی‌های یکسان بین اعضا
- ۱-۴ سیستم‌های سری با همبستگی یکسان بین اعضا
- ۲-۴ سیستم‌های موازی با همبستگی یکسان بین اعضای شکل‌پذیر
- ۵- سیستم‌ها با همبستگی‌های غیرمساوی بین اعضا
- ۱-۵ سیستم موازی با اعضای شکل‌پذیر
- ۲-۵ سیستم سری

۶- نتیجه‌گیری

فصل هشتم: تدوین آئین‌نامه‌های طراحی براساس نظریه قابلیت اعتماد سازه‌ها

۱- مقدمه

۲- روند شکل‌گیری آئین‌نامه‌ها

۲-۱- حدود آئین‌نامه

۲-۲- اهداف آئین‌نامه

۲-۳- تابع نیاز و فراوانی آن

۲-۴- معیار نزدیکی به هدف (فضای متریک)

۲-۵- قالب آئین‌نامه

۳- درجه‌بندی ضرایب جزئی ایمنی برای آئین‌نامه‌های سطح ۱

۴- نحوه تدوین آئین‌نامه طراحی پل

۴-۱- حدود عملکرد آئین‌نامه

۴-۲- اهداف آئین‌نامه

۴-۳- فراوانی خواسته‌ها (تابع نیاز)

۴-۴- سطح قابلیت اعتماد هدف

۴-۵- ضرایب بار و مقاومت

۵- نتیجه‌گیری

Reference پ

پیوست ۱- مقادیر مربوط به تابع توزیع تجمعی ... پ

پیوست ۱- (ادامه) مقادیر مربوط به تابع توزیع تجمعی ...

پیوست ۲- جدول مربع خی

پیوست ۳- مقادیر تابع گاما  $\Gamma(k)$  برای  $1 \leq k \leq 2$

پیوست ۴- اعداد تصادفی یکنواخت مونت کارلو

واژه‌نامه

## مقدمه مؤلفین:

خداوند بزرگ را شکر گزاریم که عمری داد و توفیقی مجدد نصیب نمود تا داشته‌هایی هر چند اندک و ناچیز از آموزه‌های خویش را که به رسم امانت از بزرگان و پیشکسوتان علم، اندیشه و صاحبان خرد به ما رسیده است به رشته تحریر درآورده، شاگردانه و مخلصانه به رسم هدیه به پیشگاه آنان تقدیم نماییم. امید است خداوند متعال این توشه را زکات دانشمان قرار دهد.

ارزیابی ایمنی و سلامت سازه‌ها موضوعی است که اغلب مهندسين سازه علاقه‌مند به تعیین آن هستند و بعد از طراحی هر سازه اطمینان از عملکرد واقعی آن از دغدغه‌های اصلی برای ایشان به شمار می‌رود. در این راستا آیین‌نامه‌های ساختمانی و سازه‌ای نقش مهمی در ایجاد سطوح ایمنی و قابلیت اطمینان برای سازه‌ها دارند، چرا که در حین تأمین ایمنی سازه، باید مسایل اقتصادی و اجتماعی سازه‌های طراحی شده را نیز مد نظر قرار دهند. برای این منظور شناخت کافی از جایگاه سیاسی، اقتصادی، اجتماعی سازه و همچنین بارهای وارده بر آن و مقاومت اعضای سازه‌ای از اهمیت خاصی برخوردار است.

با توجه به مطالب فوق، عدم دانش کافی از رفتار و تغییرپذیری بارها و مقاومت مصالح می‌تواند نتایج طراحی را دستخوش اشتباهات بزرگی نماید و در برخی موارد، طراحی‌های دست پایین و غیرمحافظة کارانه و یا طراحی دست بالا (محافظة کارانه) که هیچگونه توجیه اقتصادی ندارند را نتیجه دهد.

جهت تأمین اهداف فوق، آیین‌نامه‌ها بصورت ضمنی از نظریه‌های مختلفی در ضوابط و روابط پیشنهادی خود استفاده می‌نمایند. یکی از این نظریه‌ها که در دو دهه اخیر مورد توجه آیین‌نامه نویسان و مهندسين قرار گرفته، تئوری قابلیت اطمینان می‌باشد که اساس آماری داشته و نتایج آن بسیار رضایت بخش بوده است.

طبق این نظریه، کلیه بارها و مقاومت‌های سازه‌ای با توجه به تغییرپذیریشان باید مورد تجزیه و تحلیل دقیق آماری قرار گیرند. در مرحله بعد بر اساس میزان اهمیت و کاربرد سازه، تابع عملکرد سازه تشکیل شده و میزان ایمنی آن که با «شاخص قابلیت اطمینان» مطرح می‌شود، محاسبه گردد. در نهایت ضرایب جزئی ایمنی بارها و مقاومتها برای حالات حدی مختلف به نحوی محاسبه می‌گردند تا شاخص قابلیت اطمینان فوق حاصل آید.

این روش که تحت عنوان روش ضرایب افزایش بار و کاهش مقاومت معروف است (**Load and Resistance Factor Design**)، در بسیاری از آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌ای جایگزین روشهای قدیمی همچون روش تنش مجاز یا روش مقاومت نهایی شده است.

هدف از تالیف این کتاب معرفی روش فوق و آشنا شدن مهندسان با اصول اولیه آن و ترویج روشهای نوین و اقتصادی طراحی سازه‌ها می‌باشد.

بدیهی است هر کتابی نمی‌تواند مصون از اشتباهات اعم از ویرایشی و یا دانشی باشد، لذا مؤلفین این کتاب مشتاقانه انتظار دارند تا نظرات کارشناسانه شما مطالعه‌کنندگان گرامی را همچون هدیه‌ای گرانبها دریافت نموده تا در چاپ‌های بعدی کتاب مدنظر خویش قرار دهند. پیشاپیش از هرگونه پیشنهاد و یا مطالعه نقادانه شما صمیمانه سپاسگزاری می‌نماییم.

## مروری بر تاریخچه

### نظریه قابلیت اعتماد



#### ۱- مقدمه

ارزیابی سلامت و ایمنی سازه‌ها امری مهم و یکی از موضوعات جالب توجه برای مهندسين سازه می‌باشد. ایمنی یک سازه بستگی به مقاومت آن و عملکرد بارهای اعمالی بر سازه دارد. پاسخ یا عملکرد ناشی از بارها در حقیقت تابعی از بارهای متفاوت (زنده، مرده، باد، زلزله و ...) می‌باشند که ماهیتی تصادفی داشته و می‌توان آنها را بصورت متغیرهای تصادفی در نظر گرفت. بطور مشابه مقاومت یا بار قابل تحمل سازه را که به خصوصیات متفاوت فیزیکی مصالح و مشخصات هندسی سازه بستگی دارد، می‌توان متغیری تصادفی با ماهیتی آماری در نظر گرفت. با اینکه پارامترهای نامبرده بعنوان متغیرهای تصادفی شناخته شده‌اند، ولی عملاً هیچگونه تلاش جدی جهت وارد کردن این متغیرهای تصادفی در تحلیل و طراحی سازه‌ها و ارزیابی ایمنی سازه تا سال ۱۹۶۰ صورت نگرفته بود. این امر احتمالاً از آنجا ناشی شده که مهندسان اعتماد کافی به نظریه‌های احتمال و آمار و سایر ابزارهای ریاضی در محاسباتشان نداشته‌اند. این روند تا حدود سال ۱۹۶۰ ادامه داشت تا سرانجام مهندسين و محققین به اهمیت ارزیابی ایمنی سازه‌ها پی بردند و به بررسی رفتار تصادفی پارامترهای طراحی و خصوصیات آماری آنها پرداختند.

#### ۲- نقش مرکزی آیین‌نامه در فرآیند ساخت و ساز

فرآیند ساخت و ساز شامل برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت قطعات مورد نیاز، انتقال آنها، احداث ساختمان یا سازه، بهره‌برداری از آن و در نهایت (در پایان عمر سازه) تخریب و ساخت سازه جدید می‌شود. در این فرآیند شغل‌های مختلف و تخصص‌های گوناگونی دخیل خواهند بود که می‌توان آنها را به چهار دسته اصلی کارفرما یا سرمایه‌گذار<sup>۱</sup>، طراح<sup>۲</sup>، پیمانکار<sup>۳</sup> و استفاده‌کنندگان یا کاربران<sup>۴</sup> تقسیم نمود. این گروه‌ها دائماً در حال کشمکش و مشاجره می‌باشند.

چنانچه این مسئله را کمی دقیق‌تر مورد بررسی قرار دهیم، کارفرما یا سرمایه‌گذار معمولاً تمایل به سود و فایده بیشتر دارد که در اصل به مفهوم کاهش هزینه هاست و از طرف دیگر ساکنین یا استفاده‌کنندگان به دنبال رفاه و آسایش بیشتر و سازه‌ای با ایمنی بالا می‌باشند که به مفهوم هزینه‌های بیشتر است. طراح مدارک مورد نیاز ساختمان یا سازه را (معمولاً شامل محاسبات و نقشه‌ها می‌باشد) تهیه می‌کند و پیمانکار موظف است تا ساختمان را مطابق با نقشه‌ها و مدارک ارائه شده بسازد. هم طراح و

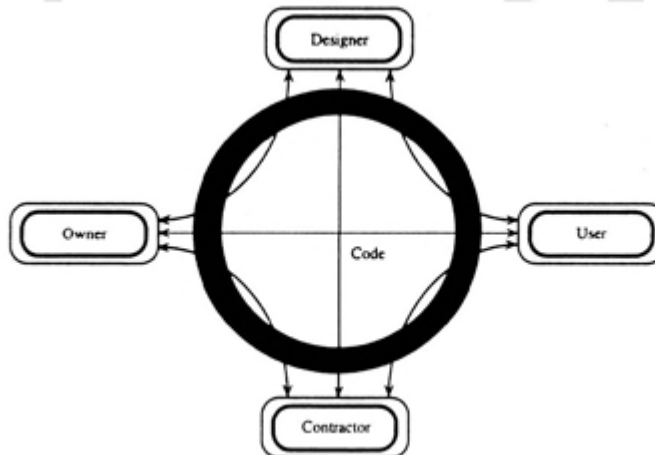
۱. Owner  
۲. Designer  
۳. Contractor  
۴. User



هم پیمانکار دائماً از جانب کارفرما تحت فشار می‌باشند تا حد امکان هزینه‌ها را پایین نگه دارند. نقش آیین‌نامه در این میان ایجاد ملزومات مورد نیاز جهت رسیدن به سطح قابلیت اعتماد قابل قبول برای یک سازه است. نقش مرکزی و اساسی آیین‌نامه‌ها در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.

خرابی سازه پیشامد نامطلوبی بحساب می‌آید. این خرابی‌ها می‌توانند علل مختلفی داشته باشند که از جمله می‌توان به سهل انگاری‌ها و نادیده گرفتن‌های بیجا در حین اجرا، حرص و طمع کارفرما یا افراد دیگر و یا محدودیتهای فیزیکی سازه اشاره نمود. همچنین ممکن است انسانها، در برخی مواقع این خرابی‌ها را به قضا و قدر الهی نسبت دهند!

احتمال خرابی معمولاً برای سازه‌هایی که با مصالح و یا با تکنولوژی جدید ساخته می‌شوند و دارای مؤلفه‌های زیادی می‌باشند (از پارامترها یا مؤلفه‌هایی که در این زمینه وجود دارند می‌توان به دهانه‌ها یا ارتفاعها و یا وزنه‌های غیر معمول اشاره کرد)، مقدار بیشتری بخود می‌گیرد. برای این گونه سازه‌ها هیچگونه آزمایش و یا تجربه‌ای از قبل صورت نگرفته است. بنابراین در اینگونه مسائل، برای طراحی‌های خود باید یک حاشیه ایمنی در نظر گرفت.



شکل ۱-۱ نقش مرکزی و کلیدی آیین‌نامه‌ها در فرآیند ساخت و ساز

جهت بوجود آوردن چنین حاشیه ایمنی، معمولاً بارهای اعمالی را کمی بیشتر از مقدار واقعی آنها و مقاومت‌ها را کمتر از مقداری که برای آن طی آزمایشات بدست آمده است، در نظر می‌گیرند. ولی ایمنی که از این طریق بدست می‌آید نمی‌تواند تمامی حالات خرابی سازه را پوشش دهد. از نقطه نظر قانونی، آیین‌نامه‌ها باید معیارهای عملی‌تر و قابل قبول‌تری را تعریف نمایند تا اگر خرابی رخ دهد، بتوان طراحی را که مفاد و شرایط آیین‌نامه را رعایت نکرده، مسؤل دانست و توبیخ نمود.

### ۳- چگونگی ایجاد سطوح و حاشیه ایمنی در آیین‌نامه‌های مختلف از منظر تاریخی

بسیاری از روشهای کنونی، جهت نیل به ایمنی سازه، در طی چندین قرن تکامل یافته و سطوح ایمنی بطور ضمنی در قالب یکسری ضوابط و یا فرمولها در آیین‌نامه‌ها گنجانده شده است. انتخاب سطوح ایمنی در هر جامعه بر اساس ارزشهایی که آن جامعه برای جان افراد قائل است، از دست رفتن مواد و مصالح، قطع سرویس دهی (و عواقب آن) و ... (که بر اثر خرابی یا نقص در سازه بوجود می‌آیند) صورت

می‌گیرد.

شاید نرخ خرابی در صنعت ساختمان در هر جامعه، نشانه خوبی برای نمایش میزان اهمیتی باشد که آن جامعه برای اقتصاد ملیش قائل است. چنانچه مقایسه‌ای بین تلفات و صدمات ناشی از فروریختن ساختمانها با تصادفات رانندگی و یا حوادث هواپیمایی و امثال آن انجام شود، اهمیت برقراری یک سطح ایمنی بالا و قابل قبول توسط آیین‌نامه‌ها بهتر مشخص گردد. چراکه نرخ خرابی به عواملی چون صنعت، منطقه جغرافیایی، سنتها و ... بستگی دارد.



- A If a builder build a house for a man and do not make its construction firm and if the wall which he has built collapses and cause the death of the owner of the house - that builder shall go to death
- B If it cause the death of the son of the owner of the house - they shall put to death a son of that builder
- C If it cause the death of a slave of the owner of the house - he shall give to the owner of the house a slave of equal value
- D If he destroy property he shall restore whatever is destroyed, and because he do not make the house which he built firm and it collapsed, he shall rebuild the house which collapsed at his own expense
- E If a builder build a house for a man and do not make its construction meet the requirements and a wall fall in, that builder shall strengthen the wall at his own expense

شکل ۱-۲ قسمتی از آیین نامهٔ حمورابی (پادشاه بابل باستان) که به زبان انگلیسی ترجمه شده است.

مفهوم «سطح ایمنی قابل قبول» طی قرن‌ها شکل گرفته است. از نظر تاریخی سازه‌های ایمن، سازه‌هایی بودند که سالهای متمادی بدون آنکه خراب شوند پابرجا بمانند. این امر بر عهدهٔ سازندهٔ ساختمان بوده، تا ساختمان‌ها را طوری بسازد که خرابی در آنها رخ ندهد.

شاید قدیمی ترین آیین نامهٔ ساختمانی مربوط به بابل باستان، آیین‌نامه (قانون) حمورابی باشد که در مزوپوتامیا<sup>۱</sup> (بین النهرین) استفاده شده است. بخشهایی از این قانون در شکل (۱-۲) نشان داده شده

۱. Mesopotamia

است. تاریخ این قطعه سنگی حجاری شده که در موزه لوور پاریس نگهداری می‌شود به ۴۰۰۰ سال قبل بر می‌گردد. در این آیین‌نامه، مسؤولیت‌ها بطور واضح و روشن تعیین شده است. بطور مثال چنانچه ساختمانی خراب می‌شد و صاحب آن از دنیا می‌رفت، سازنده (مهندس ساختمان آن زمان) کشته می‌شد و چنانچه پسر صاحب بنا بر اثر این خرابی می‌مرد، پسر سازنده کشته می‌شد و به همین ترتیب...

در دوره‌های میانی، سازه‌های عظیمی همچون کلیساها و برجها با مهارت صنعتگران آن زمان ساخته شده‌اند. حاشیه ایمنی در این سازه‌ها از روی مقایسه با ساختمانهای موفق که هنوز پایرجا بودند، تأمین می‌شد. در آن دوران روند دستیابی به ایمنی قابل قبول، با سعی و خطا همراه بود. بعنوان مثال، هنگامیکه طرح یک کلیسای جامع جدید که تا آن زمان ساختمانی به آن ارتفاع و ابعاد ساخته نشده بود، ریخته می‌شد، ضخامت دیوارها از روی مقایسه با سایر کلیساهای دیگر موجود محاسبه می‌گردید و به همان نسبت افزایش می‌یافت. این مقدار افزایش از روی قضاوت سازندگان بنا یا مهندسان آن دوران تعیین می‌شد. چنانچه سازه ایکه به این منوال ساخته شده بود خراب می‌شد، سازندگان به این نتیجه می‌رسیدند که ابعاد در نظر گرفته شده کم بوده است و این درسی می‌شد تا در دفعه بعد ابعاد را کمی افزایش دهند.

دانش طراحی و اجرای ساختمانها تا چندین قرن از یک نسل به نسل دیگر منتقل می‌شد به نحوی که یک سازنده چیره دست اغلب سعی در نسخه برداری از یک سازه مناسب و خوب داشت. با گذشت زمان اطلاعات و درک قوانین طبیعت بهتر شد و انسان توانست به نظریه‌های ریاضی مواد و رفتارهای سازه‌ای پی ببرد. به این ترتیب این نظریه‌ها قالب‌بندی اولیه روشهای احتمالاتی را فراهم ساخت که بوسیله آنها کمیت‌های ایمنی سازه و قابلیت اعتماد قابل تعیین بود. اولین فرمول‌بندی ریاضی مربوط به ایمنی سازه‌ای را می‌توان به میر<sup>۱</sup> (۱۹۲۶)، استرلزکی<sup>۲</sup> (۱۹۴۷) و وایرزبیسکی<sup>۳</sup> (۱۹۳۶) نسبت داد. آنها پارامترهای بار و مقاومت را متغیرهای تصادفی تشخیص دادند و برای هر سازه احتمال خرابی محدودی را قائل دانستند. مفاهیم آنها بعدها توسط فرودوتال<sup>۴</sup> (۱۹۵۶) توسعه بیشتری یافت. افراد دیگری نیز تا اوایل سال ۱۹۷۰ تعاریفی از شاخص قابلیت اعتماد ارائه نمودند که از آن جمله می‌توان به اقدامات نظری در کتب مورزوسکی<sup>۵</sup> (۱۹۸۹) و مارک<sup>۶</sup> (۱۹۹۶) اشاره نمود.

همانطور که اخیراً ذکر شد، آیین‌نامه‌های موجود سعی بر آن دارند تا با تعیین جزئیات لازم در طراحی و اجرای سازه‌ها به سطح ایمنی قابل قبول دست یابند. مفاد آیین‌نامه و شرایط آنها نیز در قالب فرمولها و یا روشهای طراحی بگونه‌ای در نظر گرفته می‌شوند که این خواسته را برآورده نماید. در ادامه به مقایسه سطوح ایمنی چند آیین‌نامه و معیارهایی که در هر یک از آنها جهت ایجاد ایمنی مورد استفاده قرار گرفته، پرداخته شده است.

### ۳-۱ روش تنش مجاز

به این روش، تنش بهره برداری<sup>۷</sup> نیز گفته می‌شود. در این روش تنشهایی که در اعضای سازه‌ای بر اثر بارهای سرویس (بارهای اعمالی بدون ضریب) بوجود می‌آیند با کسری از مقاومت اعضاء مقایسه می‌گردد. به این سهم از مقاومت مصالح اعضاء که در طراحی از آن استفاده می‌شود، تنش مجاز گفته می‌شود.

۱. Mayer  
۲. Streletzki  
۳. Wierzbicki  
۴. Freudeuthal  
۵. Murzewski  
۶. Marek  
۷. Working Stress Design

به لحاظ آیین‌نامه‌ای فرض می‌شود خرابی هنگامی رخ می‌دهد که تنشهای بوجود آمده در هر نقطه از سازه از تنش مجاز بیشتر شود. سطح ایمنی نیز بصورت یک ضریب اطمینان که بصورت زیر بدست می‌آید، تعریف می‌شود:

$$(1-1) \quad \text{تنش مجاز} = \frac{\text{تنش مجاز}}{\text{تنش موجود}} = \text{ضریب اطمینان}$$

در اینگونه آیین‌نامه‌ها برای مصالح شکل پذیر (مثل فولاد) تنش حد جاری شدن  $F_y$ ، بعنوان تنش خرابی و برای مصالح شکننده یا ترد (مثل بتن)، تنش نهایی  $F_u$ ، بعنوان تنش خرابی در نظر گرفته می‌شود. از طرفی فقط از رفتار ارتجاعی مصالح استفاده شده (قانون هوک حاکم است) و منحنی تغییر شکل نیز خطی فرض می‌شود.

به این ترتیب برای سازه‌های فولادی، ضریب اطمینانی در حدود ۱٫۶۷ در نظر گرفته می‌شود، اما آیا برای اتصالات سازه‌های فولادی هم همینطور خواهد بود؟ حتی این مقدار از ضریب اطمینان نمی‌تواند بیانگر مقاومت سازه در برابر بارهای پیش‌بینی نشده باشد.

اگر ضریب اطمینان دو برابر شود، آیا بدان مفهوم است که ظرفیت سازه هم دو برابر خواهد شد؟ چنین تعبیری کاملاً اشتباه است، چراکه رفتار مصالح در نزدیکی بارهای خرابی غیر ارتجاعی است. پس فقط به دلیل اینکه اگر در نقطه‌ای تنش بوجود آمده از تنش مجاز بیشتر گردد، نمی‌توان گفت که سازه لزوماً باید خراب شود (مخصوصاً اگر سازه نامعین باشد و امکان بوجود آمدن مفصل پلاستیک و بازپخش نیروها وجود داشته باشد).

در مورد ساختمانهای بتن مسلح<sup>۱</sup> که با استفاده از روش تنش مجاز طراحی می‌شوند، معمولاً از دو ضریب اطمینان متفاوت، یکی برای بتن (در حدود ۳) و دیگری برای فولاد (در حدود ۱٫۷۸) استفاده می‌گردد که این خود باعث بوجود آمدن معایب بیشتری خواهد شد و این سؤال پیش می‌آید که اثر ترکیبی این دو مقدار را چگونه می‌توان در قالب ایمنی سازه‌های بتن مسلح تعریف نمود؟

نکته قابل توجه دیگری که در زمینه طراحی سازه‌های بتن مسلح با روش تنش مجاز وجود دارد (در مورد ساختمانهای فلزی هم بیان شد) مشکلی است که بر اثر نادیده گرفتن رفتار غیرارتجاعی و غیرخطی مصالح بوجود می‌آید. وقتی در مورد ترکیبات بارها در آیین‌نامه‌های مربوطه صحبت به میان می‌آید؛ چنانچه ترکیبات باری مثل (بار باد + بار زنده + بار مرده) و یا (بار زلزله + بار زنده + بار مرده) مورد بحث باشد، می‌توان تنش مجاز را به میزان ۳۳٪ افزایش داد. این عمل در حقیقت سرپوشی است بر این موضوع که احتمال بیشینه شدن همه این بارها بطور همزمان بعید می‌باشد. اما چرا ۳۳٪؟ هیچ اساس منطقی برای انتخاب این مقدار وجود ندارد.

لذا تعریفی که از ایمنی در روش طراحی با تنشهای مجاز صورت می‌گیرد، بیان‌کننده اطمینان واقعی بوجود آمده بر اثر طراحی نمی‌باشد و کلاً می‌توان اظهار نمود سازه‌هایی که با اینگونه آیین‌نامه‌ها طراحی می‌شوند، بسیار محافظه کارانه و تا حدودی غیر اقتصادی بوده و در برخی موارد ایمنی بالاتر و در بعضی موارد ایمنی پایین‌تر از آنچه که برای آنها تصور می‌شود، برای سازه بوجود خواهد آورد. در ادامه برای درک این موضوع مثالی ذکر خواهد شد.

۱. Reinforced Concrete