

عدم قطعیت و قابلیت اعتماد در سازه‌ها

www.ketab.ir

تألیف:

دکتر فرهاد حسینلو

استادیار دانشکده مهندسی عمران و معماری

دانشگاه شهید چمران اهواز

سرشناسه : حسینلو، فرهاد، ۱۳۶۵ -

عنوان و نام پدیدآور : عدم قطعیت و قابلیت اعتماد در سازه‌ها/فرهاد حسینلو.
مشخصات نشر : شهرکرد: جهاد دانشگاهی، واحد استان چهارمحال و بختیاری، انتشارات، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری : [۴۲۰] ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار (بخشی رنگی).

شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۷۲۰۵-۴۹-۷

وضعیت فهرست نویسی : فیپا

یادداشت : کتابنامه: ص. [۴۱۶ - ۴۲۰].

موضوع : طراحی سازه

Structural design

ساختمان‌ها -- اطمینان‌پذیری

Buildings -- Reliability

پایداری سازه‌ها

Structural stability

اطمینان‌پذیری (مهندسی)

(Reliability (Engineering

شناسه افزوده : جهاد دانشگاهی. واحد استان چهارمحال و بختیاری. انتشارات

رده بندی کنگره : TA۶۵۸

رده بندی دیویی : ۶۲۴/۱۷

شماره کتابشناسی ملی : ۸۷۵۰۸۲۴

اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا



استان چهارمحال و بختیاری

عدم قطعیت و قابلیت اعتماد در سازه‌ها

تألیف: دکتر فرهاد حسینلو

استادیار دانشکده مهندسی عمران و معماری

دانشگاه شهید چمران اهواز

انتشارات: جهاد دانشگاهی استان چهارمحال و بختیاری

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۷۲۰۵-۴۹-۷

چاپ: اول، زمستان ۱۴۰۰

تیراژ: ۵۰۰ نسخه

www.16book.ir

همه حقوق محفوظ و متعلق به انتشارات جهاد دانشگاهی است.

۹۵۰۰۰ تومان

فصل ۱: اثرات عدم قطعیت در مهندسی سازه

۱۶	۱-۱ مقدمه
۱۷	۱-۱-۱ سطوح رابج خطر
۲۰	۲-۱ عدم قطعیت
۲۰	۱-۲-۱ کلیات
۲۳	۲-۲-۱ متغیرهای اصلی
۲۴	۳-۲-۱ انواع عدم قطعیت
۲۶	۳-۱ تحلیل قابلیت اعتماد و ارزیابی ایمنی
۲۶	۱-۳-۱ قابلیت اعتماد سازه‌ای
۳۰	۲-۳-۱ روش‌های ارزیابی ایمنی
۳۱	۴-۱ روش‌های غلبه بر عدم قطعیت

فصل ۲: اصول نظریه احتمال

۳۶	۱-۲ مقدمه
۳۶	۲-۲ فضای نمونه
۴۰	۳-۲ اصول و قضایای نظریه احتمال
۴۶	۴-۲ متغیرهای تصادفی
۵۰	۵-۲ گشتاور
۵۴	۶-۲ توزیع‌های تک متغیره
۵۸	۷-۲ بردارهای تصادفی
۶۱	۸-۲ توزیع‌های شرطی
۶۳	۹-۲ توابع متغیرهای تصادفی
۶۶	۱۰-۲ توزیع‌های چند متغیره

فصل ۳: مدل‌های احتمالی برای متغیرهای بارگذاری و مقاومت

۷۰	۱-۳ مقدمه
۷۱	۲-۳ نظریه آماری مقادیر حداکثر
۷۱	۱-۲-۳ اشتقاق توزیع تجمعی کوچک‌ترین مقدار λ از n توزیع یکسان متغیرهای تصادفی مستقل
۷۴	۲-۲-۳ مقادیر حداکثر نرمال
۷۵	۳-۳ توزیع‌های مقادیر حداکثر نامتقارن
۷۶	۱-۳-۳ توزیع‌های مقادیر حداکثر نوع I (توزیع گامبل)
۷۸	۲-۳-۳ توزیع‌های مقادیر حداکثر نوع II
۷۹	۳-۳-۳ توزیع‌های مقادیر حداکثر نوع III
۸۱	۴-۳ مدل سازی تغییرات مقاومت. انتخاب مدل
۸۱	۱-۴-۳ نکات کلی
۹۳	۲-۴-۳ انتخاب توزیع برای متغیرهای مقاومت
۹۶	۵-۳ مدل سازی متغیرهای بارگذاری. انتخاب مدل
۹۶	۱-۵-۳ نکات کلی
۹۹	۲-۵-۳ انتخاب توزیع برای بارها و سایر کنش‌ها
۱۰۳	۶-۳ تخمین پارامترهای توزیع
۱۰۴	۱-۶-۳ تکنیک‌هایی برای تخمین پارامتر
۱۱۱	۲-۶-۳ صحت‌سنجی و تأیید مدل
۱۱۲	۷-۳ گنجاندن عدم قطعیت آماری

فصل ۴: اصول نظریه قابلیت اطمینان سازه

۱۱۴	۱-۴ مقدمه
۱۱۵	۲-۴ مشخصات نظریه قابلیت اعتماد کلاسیک
۱۲۰	۳-۴ تحلیل قابلیت اعتماد سازه‌ای
۱۲۰	۱-۳-۴ کلیات

۱۲۱	 مسئله بنیادی ۲-۳-۴
۱۲۷	 مسئله کاهش در مسئله بنیادی ۳-۳-۴
۱۲۹	 رفتار یک بار منفرد متغیر با زمان ۴-۳-۴
۱۳۰	 مورد عمومی ۵-۳-۴
۱۳۲	 روش مونت کارلو ۶-۳-۴
۱۳۳	 روش های نمونه برداری برای روش MCS ۷-۳-۴
۱۴۱	 Latin Hypercube Sampling (LHS) ۸-۳-۴
۱۴۳	 ارزیابی ایمنی و کاهش عدم قطعیت با تکنیک مونت کارلو ۴-۴
۱۴۳	 مقدمه ۱-۴-۴
۱۴۸	 روش شناسایی و کلاس بندی عیب ۲-۴-۴
۱۵۰	 نقصان داده و کاهش مدل ۳-۴-۴
۱۵۳	 تحلیل حساسیت دینامیکی ۴-۴-۴
۱۵۴	 به روزرسانی مدل المان محدود ۵-۴-۴
۱۵۷	 ارزیابی ایمنی همراه با نویز ۶-۴-۴

فصل ۵: روش های سطح دو

۱۶۶	 مقدمه ۱-۵
۱۶۷	 متغیرهای اصلی و رُویۀ شکست ۲-۵
۱۷۰	 شاخص قابلیت اعتماد برای توابع شکست خطی و متغیرهای اصلی نرمال ۳-۵
۱۷۷	 شاخص قابلیت اعتماد هاسوفر و لیند ۴-۵

فصل ۶: روش های سطح دو توسعه یافته

۱۸۸	 مقدمه ۱-۶
۱۸۹	 مفهوم همبستگی ۲-۶
۱۹۶	 متغیرهای اصلی همبسته ۳-۶
۲۰۰	 متغیرهای اصلی غیر همبسته ۴-۶

فصل ۷: قابلیت اعتماد سیستم‌های سازه‌ای

۲۱۲.....	۱-۷ مقدمه
۲۱۳.....	۲-۷ عناصر کاملاً ترد و کاملاً انعطاف پذیر
۲۱۵.....	۳-۷ سیستم‌های اصلی
۲۲۶.....	۴-۷ سیستم‌هایی با اعضای همبسته معادل

فصل ۸: کران‌های قابلیت اعتماد برای سیستم‌های سازه‌ای

۲۳۶.....	۱-۸ مقدمه
۲۳۷.....	۲-۸ کران‌های ساده
۲۴۲.....	۳-۸ کران‌های DITLEVSEN
۲۴۳.....	۴-۸ سیستم‌های موازی با اعضای همبسته نامعادل
۲۴۶.....	۴-۸ سیستم‌های سری با اعضای همبسته نامعادل

فصل ۹: مقدمه‌ای بر نظریه فرایند تصادفی و کاربردهای آن

۲۵۸.....	۱-۹ مقدمه
۲۵۹.....	۲-۹ فرایندهای تصادفی
۲۶۳.....	۳-۹ فرایندهای گاوسی
۲۶۶.....	۴-۹ مسئله عبور از یک حد آستانه
۲۷۳.....	۵-۹ توزیع قله
۲۷۸.....	۶-۹ کاربرد فرایند تصادفی در ارزیابی ایمنی

فصل ۱۰: ترکیبات بار

۲۸۲.....	۱-۱۰ مقدمه
۲۸۴.....	۲-۱۰ مسئله ترکیب بار
۲۸۹.....	۳-۱۰ مدل بار FBC
۲۹۲.....	۴-۱۰ قوانین ترکیب

پیشگفتار

اخیراً استفاده از روش‌های تحلیل ریسک و قابلیت اطمینان با توجه به قابلیت بالای آنها در بهینه‌نمودن طرح‌های مهندسی و بالا بردن توان مدیریتی پروژه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به ساخت‌وساز گسترده‌ای که در کشور وجود دارد، کاربردی‌نمودن این روش‌ها در طراحی سازه‌های مختلف می‌تواند بسیار مفید باشد. طراحان در محاسبات طراحی مربوط به تعیین تنش‌ها و تغییر شکل‌ها با روش‌های مجاز، از حداقل خواص معین مواد و شدت بار معین بهره می‌برند. بدیهی است که رویکرد تفکر قطعی به دلیل تدوین آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌ها در حوزه‌ای وسیع و همچنین به دلیل نداشتن اطلاعات کافی از عملکرد واقعی سازه‌ها، تقویت شده است. به عنوان مثال، تنش و تغییر شکل واقعی به‌ندرت شناخته و مشاهده می‌شود و از آنجایی که اکثر سازه‌ها فرو نمی‌ریزند، مقاومت بالقوه واقعی آنها به‌طور کلی شناخته نمی‌شود. کمبود اطلاعات در مورد رفتار واقعی سازه‌ها، همراه با استفاده از آیین‌نامه‌هایی که حاوی عوامل ایمنی نسبتاً بالایی هستند، می‌تواند منجر به این دیدگاه شود که ایمنی مطلق می‌تواند تعیین شود. این دیدگاه هنوز به‌وسیله برخی مهندسين مورد استفاده قرار می‌گیرد. ایمنی مطلق، قطعاً غیر قابل دسترسی و چنین هدفی نیز نامطلوب است؛ زیرا آن تنها با استفاده از گسترش منابع محدود به دست می‌آید؛ بنابراین هدف اصلی از طراحی سازه، قابلیت اعتماد با سطح احتمال قابل قبول است؛ به‌طوری‌که هر سازه برای هدفی از پیش تعیین شده برای آن در هر زمان از طول عمر طراحی معین خودش نامناسب نباشد. با این حال اکثر سازه‌ها، چندین ویژگی عملکردی دارند و معمولاً به‌صورت مجموعه‌ای از قابلیت سرویس دهی و حالات حد نهایی بیان می‌شوند که اکثر آنها مستقل نیستند و در نتیجه مشکل بسیار پیچیده‌تر از توصیف تنها یک احتمال است. اینکه آیا یک سازه یا یک عضو سازه‌ای هنگام بارگذاری دچار شکست می‌شود یا نه، بستگی به بخشی از مقدار واقعی خواص مواد مربوطه دارد که مقاومت آن را تعیین می‌کند؛ بنابراین تحلیل گر قابلیت اعتماد باید به ماهیت تغییرات واقعی مقادیر فیزیکی مانند بارها، خواص مواد و ابعاد توجه کند. این تغییرپذیری را می‌توان از نظر توزیع احتمالات یا فرایندهای تصادفی توصیف نمود. با این حال، تغییرات فیزیکی تنها با ارزیابی (تست) داده‌های نمونه قابل اندازه‌گیری است؛ اما از آنجا که در اندازه نمونه‌ها با توجه به ملاحظات عملی و اقتصادی محدودیت وجود دارد، برخی از عدم قطعیت‌ها باقی خواهند ماند افزون بر این، در طراحی و تحلیل سازه‌ها از مدل‌های ریاضی استفاده می‌شود که این مدل‌ها به‌ازای یک مجموعه داده ورودی یا متغیر اصلی (شدت بار، مدول الاستیسیته، مدت بارگذاری)، مقادیر خروجی مطلوبی (خیز تیر بتنی مسلح) را ارائه می‌دهند. این مدل‌ها عموماً قطعی هستند. با وجود این، با استثنائات بسیار کمی، به‌ندرت امکان پیش‌بینی بسیار دقیق پاسخ سازه‌های معمول در مهندسی عمران تحت بارگذاری وجود دارد، هر چند مقادیر ورودی حاکم دقیقاً مشخص باشند. به عبارتی دیگر، علاوه بر متغیرهای اصلی مربوط به بارگذاری و مقاومت سازه‌ای که جزء عدم قطعیت‌ها به حساب می‌آیند، پاسخ سازه‌های معمولی و

اعضای سازه‌ای خود نیز جزء عدم قطعیت‌ها هستند. این منبع اضافی عدم قطعیت، عدم قطعیت مدل نامیده می‌شود و به عنوان یک نتیجه از ساده‌سازی فرض‌ها، شرایط مرزی ناشناخته، اثرات ناشناخته دیگر متغیرها و اندرکنش آنها که در مدل گنجانده نشده است، رخ می‌دهد. به طور مثال، در مسائل مهندسی دریا عدم قطعیت‌های موجود در داده‌ها و تئوری‌ها، هم در مرحله تحلیل و هم طراحی، منجر به لزوم استفاده از روش‌های احتمالاتی می‌شود. شکست در سازه‌های هیدرولیکی و دریایی نتیجه تأثیرات متقابل اتفاقی بودن بار خارجی و عدم قطعیت‌های مختلف در تحلیل، طراحی، ساخت و به کارگیری سازه است. تحلیل قابلیت اطمینان یک چهارچوب منظم و سازماندهی شده را برای کم کردن انواع عدم قطعیت‌ها فراهم می‌کند. علاوه بر این، به طراح اجازه می‌دهد تا نقش هر کدام از پارامترهای ورودی مسئله را در عدم قطعیت خروجی مدل مشخص کند. این آگاهی برای تشخیص پارامترهای مهم به منظور توجه بیشتر به آنها برای دستیابی دقیق‌تر به اندازه و تأثیر آنها و در نهایت کاهش عدم قطعیت‌های خروجی بسیار مهم است. در این راستا، تلاش‌های گسترده‌ای در استفاده از تحلیل قابلیت اطمینان و دیگر روش‌های احتمالاتی در تحلیل مسائل مختلف سازه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی دیگر می‌توان گفت که ایده تحلیل قابلیت اطمینان سازه، برای محققین در زمینه‌های گوناگون مهندسی و به خصوص در پروژه‌های دانشگاهی، انگیزش زیادی را برای انجام بررسی و تحقیق ایجاد کرده است. ولی سؤال مهمی که در مجامع علمی و به خصوص در بحث ارتباط با صنعت، از سوی کسانی که به دایوری می‌نشینند مطرح می‌گردد، این است که این دیدگاه و روش‌ها تا چه حد برای سازه‌های عظیم ساختمانی و دریایی، عملی و کاربردی می‌باشند. این سؤال به خصوص به هنگام یادآوری این موضوع حساس‌تر می‌گردد که بعضاً فناوری‌های درگیری عملی با یک سازه واقعی در محل، در پس بیان فرمول‌بندی‌های پیچیده ریاضی فراموش و پوشیده می‌شود. با علم به نکته مذکور، دیدگاهی که برای پس‌زمینه تمامی مطالب این کتاب ترسیم شده، شامل در نظر گرفتن افقی است که نهایتاً در آن بتوان با مناسب‌ترین عملکرد به روشی با کمترین خطا برای طراحی مناسب یک سازه عملیاتی دست یافت. بنابراین برای رفع چالش‌های مذکور، ساختار بخش‌های مختلف کتاب به این صورت در نظر گرفته شده است.

در فصل اول، اثرات عدم قطعیت در مهندسی سازه؛ در فصل دوم، اصول نظریه احتمال؛ در فصل سوم، مدل‌های احتمالی برای متغیرهای بارگذاری و مقاومت؛ در فصل چهارم، اصول نظریه قابلیت اطمینان سازه؛ در فصل پنجم، معرفی روش‌های سطح دو؛ در فصل ششم، روش‌های سطح دو توسعه یافته؛ در فصل هفتم، قابلیت اعتماد سیستم‌های سازه‌ای؛ در فصل هشتم، کران‌های قابلیت اعتماد برای سیستم‌های سازه‌ای؛ در فصل نهم، مقدمه‌ای بر نظریه فرایند تصادفی و کاربردهای آن؛ در فصل دهم، ترکیبات بار؛ در فصل یازدهم، کاربردهای آیین‌نامه‌های سازه‌ای؛ در فصل دوازدهم، کاربردهای تحلیل قابلیت اعتماد در سازه‌های فراساحلی؛ در فصل سیزدهم، بهینه‌سازی براساس قابلیت اعتماد تشریح و ارائه شدند. شایان ذکر است مباحث این کتاب یکی از عناوین اصلی در برنامه آموزشی دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته مهندسی عمران، برای دانشجویان علاقمند رشته‌های دیگر مهندسی در این حوزه نیز بر استفاده دانشجویان رشته مهندسی عمران، برای دانشجویان علاقمند رشته‌های دیگر مهندسی در این حوزه نیز

می‌تواند مفید باشد. مطالب این کتاب طوری طراحی و بیان شده است که بتواند راهنمایی خوب و مؤثر برای همه دانشجویان و متخصصان عزیز کشورمان در انجام تحقیقات کارآمد این حوزه باشد. مضاف بر این، این کتاب می‌تواند به ارزش دو واحد درسی برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته مهندسی عمران ارائه گردد. امید آن می‌رود که با ارائه این کتاب بتوانیم سهم کوچکی در راستای اعتلای علمی دانشجویان، مهندسان و محققان فعال در این حوزه داشته باشیم.