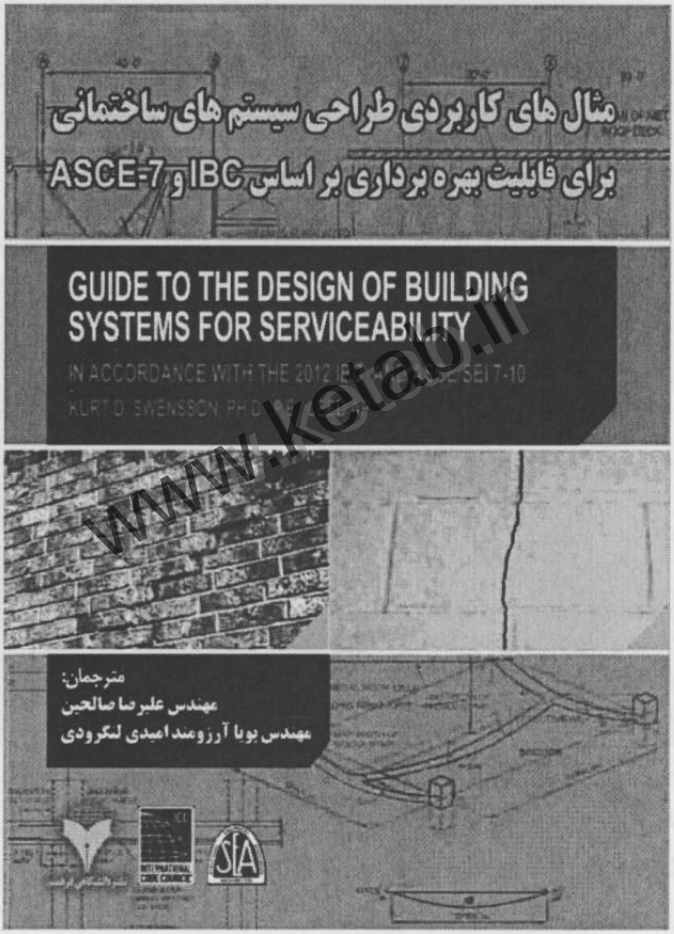
مثال های کاربردی طراحی سیستم های ساختمانی برای قابلیت بهره برداری بر اساس IBC و ASCE-۷



www.ketab.ir

مؤلف: کرت سوینسون

Kurt D. Swensson PhD. P.E. LEED AP

مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس پویا آرزومند امیدی لنگرودی

نشر دانشگاهی فرهمند

نام کتاب: مثال های کاربردی طراحی سیستم های ساختمانی برای قابلیت بهره برداری بر اساس IBC و ASCE-۷

مؤلف: کرت سوینسون

مترجمان: مهندس علیرضا صالحین مهندس پویا آرزومند امیدی لنگرودی

ویراستاران: مهندس بهزاد نادرخانی / مهندس امیر زینی / نیلوفر زینی / علیرضا محسنی فخز / علی حیدری

سال چاپ: ۱۴۰۳

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۰۰

شابک: ۵-۱۷-۴۹۸۰-۶۲۲-۹۷۸

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فرهمند محفوظ می‌باشد

نشانی: تهران، خیابان انقلاب، روبروی در اصلی دانشگاه، پاساژ فروزنده، طبقه اول، واحد ۴۱۹

تلفن: ۶۶۹۶۸۶۱۴- ۶۶۴۱۰۶۸۸

www.ketab.ir

سرشناسه	:	سوئنسون، کرت دکتر Swensson, Kurt D.
عنوان و نام پدیدآور	:	مثال‌های کاربردی طراحی سیستم‌های ساختمانی برای قابلیت بهره‌برداری بر اساس IBC و ASCE - ۷/ مولف کرت سوینسون ؛ مترجمان علیرضا صالحین، پویا آرزومند امیدی لنگرودی ؛ ویراستاران بهزاد نادرخانی ... [و دیگران].
مشخصات نشر	:	تهران: نشر دانشگاهی فرهمند، ۱۴۰۳.
مشخصات ظاهری	:	۲۲۳ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	978-622-4960-17-5
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Guide To The Design Of Building Systems For Serviceability : In Accordance With The 2012 IBC AND ASCE/SEI 7-10,2013.
یادداشت	:	ویراستاران بهزاد نادرخانی، امیر زینی، نیلوفر زینی، علیرضا محسنی‌فخز، علی حیدری.
یادداشت	:	واژه‌نامه.
یادداشت	:	کتابنامه.
موضوع	:	مهندسی سازه -- طراحی و ساخت Structural engineering -- Design and construction
شناسه افزوده	:	صالحین، علیرضا، ۱۳۶۵ - ، مترجم
شناسه افزوده	:	آرزومند امیدی لنگرودی، پویا، ۱۳۷۱-، مترجم
رده بندی کنگره	:	TA۶۳۸
رده بندی دیویی	:	۶۲۴/۰۷۱۲
شماره کتابشناسی ملی	:	۹۹۹۳۱۷۶
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا

فهرست مطالب:

مقدمه
مترجمان.....٦
درباره نویسنده.....٩
مقدمه نویسنده..... ١٠
مقدمه‌ای بر قابلیت بهره‌برداری.....١٢
فصل اول
الف.١ ساختمان مسکونی – بتن مسلح.....٥٧
الف.٢ ساختمان مسکونی– سازه فولادی.....١١٥
فصل دوم
ب.١ ساختمان تجاری – بتن مسلح.....١٥٤
ب.٢ – ساختمان اداری تجاری – سازه فولادی.....١٩٩
فصل سوم
ج. انبار – سازه فولادی و بنایی.....٢٥١
فصل چهارم
د. ساختمان اداری تجاری – ارزیابی لرزه‌ای.....٢٧١
فصل پنجم
ه. ساختمان مسکونی – فولاد سازه‌ای و چوب.....٢٧٧
واژه نامه تخصصی انگلیسی به فارسی.....٢٨٤

www.ketab.ir

مقدمه مترجمان:

همگی مطلع هستیم با وضعیت موجود، چه قدر دسترسی به منابع روز دنیا سخت و مشکل بوده و برای ایرانیان این دسترسی روزبه‌روز هم دشوارتر می گردد. دسترسی به منابع معتبر و کاربردی یکی از نیازهای اساسی مهندسان و دانشجویان است. کتاب Guide to the Design of Building Systems fo Serviceability با ارائه مثال های متنوع و کاربردی برای قابلیت بهره برداری (سرویس دهی) ساختمان های متداول، یکی از معدود منابع برجسته در این حوزه است. این کتاب باهمکاری گروهی از نویسندگان به سرپرستی Timothy W. Mays و قلم Kurt D. Swensson تهیه و توسط انتشارات معتبر ICC (International Code Council) منتشرشده است. انتشارات ICC به‌عنوان یکی از ناشران پیشرو درزمینه استانداردهای ساختمانی و مهندسی، همواره تلاش کرده است تا با ارائه منابع جامع و به‌روز، نیازهای مهندسان را در سطح بین‌المللی برآورده سازد.

معیارهای قابلیت سرویس‌دهی در مقایسه با الزامات مقاومت و ایمنی در آیین‌نامه‌های ساختمانی کمتر تجویزی هستند. این راهنما بینش‌های دقیقی در مورد قابلیت سرویس‌دهی ارائه می‌دهد و با ارائه مثال‌های عملی برای اعمال معیارهای قابلیت سرویس‌دهی، به مهندسان در طراحی ساختمان‌ها کمک می نماید.

قابلیت سرویس‌دهی بر عملکرد ساختمان در طول زمان تأثیر داشته و بر دوام و راحتی ساکنان ساختمان اثرگذار است. در این منبع، به جنبه‌های مختلف قابلیت سرویس‌دهی، از جمله خیز، ارتعاش و تغییر مکان جانبی در سیستم‌های مختلف ساختمانی، پرداخته شده است. ارزیابی و کنترل مسائل قابلیت سرویس‌دهی با محاسبات و مثال‌های واقعی برای سازه‌های بتنی، فولادی و چوبی بیان شده است. در این کتاب تلاش شده است تا مشکلات رایج قابلیت سرویس‌دهی و راه‌حل‌های مؤثر آن‌ها بیان شده و به آن‌ها پرداخته گردد.

در طی مطالعه این کتاب در مثال های مختلف به موارد مختلفی پرداخته است. بر قابلیت سرویس‌دهی برای درک مفهوم و اهمیت آن در طراحی ساختمان، مروری بر استانداردها و الزامات قابلیت سرویس‌دهی در آیین‌نامه‌های IBC و ASCE ، راهنمایی‌هایی در رابطه با خیزهای مجاز برای اعضای مختلف سازه و محاسبات مرتبط با آن‌ها، کنترل ارتعاش شامل ارزیابی و کاهش ارتعاشات کف به منظور حفظ آرامش ساکنان، کنترل تغییر مکان جانبی و پایداری سازه برای بارهای وارده از باد و زلزله، قابلیت سرویس‌دهی مرتبط با عملکرد پی و تأثیر قابلیت سرویس‌دهی بر عملکرد دیوارها، پنجره‌ها و سایر اجزای پوسته مورد بررسی قرار گرفته است. البته این موضوعات به صورت گسترده و جامع مورد بحث قرار نگرفته‌اند، چرا که در این صورت کتابی خلاصه در حد ۳۰۰ صفحه به ۱۰۰۰ صفحه تبدیل شده و از حوصله خوانندگان محترم خارج می‌گردید.

اگرچه کتاب بیش از یک دهه قدمت دارد، بسیاری از اصول قابلیت سرویس‌دهی که در آن بحث شده است، همیشگی هستند. مفاهیم بنیادی در مورد نحوه واکنش ساختمان‌ها به بارها، اشغال و عوامل محیطی تغییرات اساسی نداشته‌اند. علاوه بر این، در این زمینه کتب بسیار محدودی منتشر شده است و ICC در انتخاب و ترجمه این کتاب نقش اعتباربخشی داشته است.

این کتاب به دلیل محتوای کاربردی و جامع خود، به‌عنوان یکی از منابع اصلی برای آمادگی در آزمون ورودی مهندسی سازه (SE Exam) شناخته می‌شود. آزمون SE به‌عنوان یکی از چالش‌برانگیزترین آزمون‌های

www.kelab.ir

حرفه‌ای در مهندسی سازه، نیازمند تسلط بر مفاهیم پیشرفته و کاربردی است که این کتاب به‌خوبی به آن‌ها پرداخته است.

از این مراجع آزمون SE، کتب ارزشمند زیر در نشر دانشگاهی فرهمند ترجمه گردیده که برای هر مهندسی سازه و زلزله مطالعه آن ضروری است، به‌خصوص درصورتی‌که نیاز به گذراندن آزمون‌های حرفه‌ای ورود به حرفه در کانادا و آمریکا را داشته باشد، صدالبته که امتحانات نظام‌مهندسی نیز از منابع مشترکی بهره می‌برد:

۱. مثال‌ها و راهنمای طراحی برای نامنظمی‌های متداول در ساختمان‌ها بر اساس IBC و ASCE-۷ در ETABS، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین، مهندس علی حیدری و مهندس پویا آرزومند امیدی لنگرودی

۲. راهنمای طراحی مهار برون صفحه‌ای دیوارها، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس علی حیدری

۳. مثال‌های طراحی کاربردی ساختمان‌ها با جداسازهای لرزه‌ای و میراگرهای ویسکوز (جلد پنجم راهنمای طراحی لرزه‌ای SEAOC)، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس علی‌اکبر خلیلی

۴. مثال‌های طراحی کاربردی دیافراگم‌ها تیر تیغه‌ها و جمع کننده‌های بار در سازه‌های بتنی و فولادی، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس نیما اصغری

۵. رفع ابهامات، همراه با مثال‌های کاربردی بارگذاری لرزه‌ای آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس حمیده سلطانیه

۶. رفع ابهامات، همراه با مثال‌های کاربردی بارگذاری برف بر سازه‌ها بر اساس مبحث ششم مقررات ملی و ASCE۷-۱۰، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس بهاره بهرامی

۷. رفع ابهامات، همراه با مثال‌های کاربردی بارگذاری باد بر سازه‌ها بر اساس مبحث ششم مقررات ملی و ASCE۷-۱۰، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس مسعود غیاث الدین

۸. طراحی پلاستیک سازه‌های فولادی مقاوم در برابر زلزله بر اساس سطح عملکرد، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس احسان عمرانیان

۹. دیتیل ها و طراحی ساختمان‌های فولادی مقاوم در برابر زلزله با رویکرد رفتارشناسی اعضاء به روش LRFD (مرجع برای بخش آزمون طرح لرزه‌ای سازه‌های فولادی)، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس علی حیدری

آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران یکی از مهم‌ترین مراجع فنی در طراحی و اجرای ساختمان‌ها در مناطق زلزله‌خیز کشور است. بر اساس ادعای بیان‌شده، این آیین‌نامه بر اساس تحقیقات و مطالعات علمی و فنی به‌روز تدوین‌شده و همواره با توجه به پیشرفت‌های جدید علمی و تجربیات حاصل از زلزله‌های گذشته، به‌روزرسانی می‌شود؛ اما در حقیقت این آیین‌نامه یک ترجمه از روی آیین‌نامه‌های آمریکایی مانند ASCE و اروپا Eurocode است، اما متأسفانه هم ترجمه ناقص است، هم آنکه تفسیر این آیین‌نامه توسط متولی آن بیرون داده نشده، بنابراین هر کس برای خودش تفسیر به رأی می‌نماید، علاوه بر آن در کشورهای لرزه خیز و پیشرفته علاوه بر تفسیر آیین‌نامه، مجموعه راهنمای تکمیلی و مثال‌های طراحی و حتی مجموعه کتب و سیمنارهای کاربردی رفع ابهامات و خطاها رایج برگزار می‌گردد که این امر در ایران به نحو شایسته وجود ندارد.

با توجه به تجربیات و دانش گسترده نویسندگان این کتاب، می‌توان امیدوار بود که خوانندگان بتوانند از این منبع به نحو احسن بهره‌برداری کنند و در پروژه‌های خود به‌کارگیرند. کتب منتشرشده توسط انتشارات ICC ازجمله

www.ketab.ir

منابع اصلی و معتبر در حوزه مهندسی عمران هستند که به دلیل دقت و جامعیت در تدوین، موردتوجه جامعه مهندسی قرارگرفته‌اند. این کتاب به‌عنوان یک راهنمای عملی و تئوریک برای مهندسان و دانشجویان در طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله می تواند مورداستفاده قرار گیرد.

از نقاط قوت این کتاب می‌توان به خلاصه بودن، سرراستی و مثال‌محور بودن اشاره نمود. این کتاب مجموعه از مثال‌های ساده‌سازی شده حل‌شده را با سیستم‌های مختلف سازه‌ای مورد طراحی و ارزیابی قرار می‌دهد.

از همکار ارجمندم جناب مهندس آرزومند که در برگردان و ویرایش این اثر ما را یاری نمودند، کمال تشکر را دارم. از حمایت، پشتیبانی جناب آقای علیرضا فرهمندزادگان، مدیر نشر دانشگاهی فرهمند نیز کمال تشکر راداریم. امید است که این کتاب با ترجمه و نشر در ایران، در راستای کمک به ارتقای دانش و توانمندی‌های حرفه‌ای مهندسان و دانشجویان ایرانی نقش مهمی ایفا نماید.

زمانی برای به دست آوردن یک کتاب چقدر که زحمت نمی‌کشیدیم و بعد از تهیه آن به‌صورت کامل یا ناقص چقدر ذوق داشتیم، سپس ما بودیم و دریایی از معادل‌سازی، شک و ابهام برای ترجمه یا درک مطلب... اما امروز با چاپ بیش از ۳۰ اثر ارزشمند در این انتشارات خطشکنی بزرگی درزمینه مهندسی عمران و برگردان آثاری که جای آنها در این رشته جایشان خالی بود انجام دادیم. بیش از ۱۰ سال تلاش... بسیاری از این کتب مستقیماً تحت تحریم از ایالات‌متحده بوده که با تلاش و صرف هزینه‌های بسیار آنها را تهیه و ترجمه آن را در اختیار شما عزیزان قراردادیم. حقیقتاً کار ترجمه متون تخصصی، سنگین و دشوار است.

هیچ اثر بی‌نقصی وجود ندارد. لطفاً نقطه نظرات خویش را با نشر دانشگاهی فرهمند، با کانال: @farhamandpress، اینستاگرام: @nashr.farahmand، وب‌سایت: www.farbook.ir و شماره ۶۶۹۶۸۶۱۴-۰۲۱ یا ۰۹۱۲۵۰۱۰۰۳۰ تماس حاصل فرمایید. نحوه ارتباط با مدیر علمی نشر: @Alirezasalehin، سایر منابع از کانال تلگرامی @seismicisolation که کتابخانه عظیم مهندسی عمران (سازه، زلزله و ژئوتکنیک و ...) می‌باشد، در دسترس و دانلودی‌باشد و عزیزان می‌توانند منابع موردنیاز خود را از آنها تهیه و استفاده نمایند.

مهندس علیرضا صالحین و مهندس پویا آرزومند امیدی لنگرودی - پاییز ۱۴۰۳

www.ketab.ir

درباره نویسنده:

کرت سوئنسون (Kurt Swensson, PhD, PE, LEED AP) یکی از چهره‌های برجسته مهندسی عمران و محیط زیست است. وی مدرک دکترای خود را در رشته مهندسی عمران دریافت کرده و به عنوان مهندس حرفه‌ای(PE) در ایالات متحده فعالیت می‌کند و دارای گواهینامه LEED AP بوده که نشان از مهارت او در طراحی و اجرای ساختمان‌های سبز و پایدار دارد. در طول دوران حرفه‌ای خود، دکتر سوئنسون همکاری‌های گسترده‌ای با شورای بین‌المللی تدوین آیین نامه آمریکا (ICC) داشته است؛ این سازمان مسئول تدوین و اجرای استانداردهای ساختمانی و ایمنی است. نقش وی در بازبینی و اصلاح این کدها بسیار ارزشمند بوده و به بهبود کیفیت و ایمنی در صنعت ساختمان‌سازی کمک شایانی کرده است.

دکتر Swensson علاوه بر فعالیت‌های اجرایی، به تألیف و مشارکت در چندین کتاب علمی پرداخته است که این آثار در دانشگاه‌ها و مراکز علمی به عنوان منابع مرجع استفاده می‌شوند. او همچنین مقالات علمی متعددی در نشریات معتبر منتشر کرده است که همگی نشان‌دهنده عمق دانش و تسلط وی بر مسائل پیچیده مهندسی سازه و محیط زیست است.

شرکت KSI Structural Engineers که توسط او تأسیس و مدیریت می‌شود، یکی از معتبرترین شرکت‌های مهندسی در زمینه مشاوره و طراحی سازه‌هاست. این شرکت پروژه‌های بزرگی در زمینه زیرساخت‌های شهری و طراحی پایدار را به سرانجام رسانده است. سوئنسون تجربه مدیریت پروژه‌های پیچیده و بزرگ، نظارت بر طراحی سازه‌ها و همکاری با سازمان‌های بین‌المللی را در کارنامه خود دارد. همچنین به عنوان استاد دانشگاه، نقش مهمی در تربیت مهندسان آینده ایفا کرده و دانش و تجربیات خود را به نسل‌های جدید منتقل می‌کند.

www.ketab.ir

مقدمه:

با پیشرفت صنعت طراحی ساختمان به سمت پذیرش کامل طراحی بر اساس مقاومت نهایی و نگاه به طراحی مبتنی بر عملکرد، ضروری است که طراحان درک روشنی از حالت‌های حدی قابلیت بهره‌برداری داشته باشند. با این حال، حرفه مهندسی سازه در برابر استانداردسازی یا وضع قوانین برای طراحی قابلیت بهره‌برداری در ساختمان‌ها مقاومت می‌کند. در نتیجه، عملکرد قابلیت بهره‌برداری به‌طور دقیق در آیین‌نامه‌ها و استانداردهای ساختمانی مورد توجه قرار نگرفته است. بنابراین، در بسیاری از موارد، مسئولیت تعیین حالت‌های حدی مناسب برای طراحی قابلیت بهره‌برداری بر عهده مهندس محاسب است. وسعت و تنوع اطلاعات مربوط به حدی قابلیت بهره‌برداری، به مهندس آزادی و خلاقیت در توسعه طرح می‌دهد؛ اما نبود استانداردی با آدرس دهی برای کف مطالبات مورد نیاز برای طراحی قابلیت بهره‌برداری، از یک سو منجر به محافظه‌کاری بیش حد و از سوی دیگر باعث بی‌توجهی می‌شود. علاوه بر این، تنوع نظرات باعث بروز اختلافات غیرضروری میان مهندسان متخصص می‌گردد. این اختلافات و فقدان استانداردی کاربردی در طراحی قابلیت بهره‌برداری، به سردرگمی در میان مالکان، معماران و پیمانکاران در مورد عملکرد مورد انتظار سیستم‌های سازه‌ای می‌شود. نتیجه نهایی این است که زمان و هزینه به هدر می‌رود زیرا تیم‌های پروژه باید برای هماهنگی و حل اختلافات مربوط به عملکرد غیرقابل قبول عناصر معماری، نازک‌کاری‌ها و تجهیزات ساختمان وقت صرف کنند.

هدف این راهنمای طراحی، ارائه اطلاعات و مثال‌های کاربردی برای استفاده مهندسین متخصص در طراحی سازه‌ای ساختمان از نظر عملکرد قابلیت بهره‌برداری است. نویسنده امیدوار است که این راهنما به توسعه استانداردی توافقی برای طراحی قابلیت بهره‌برداری منجر گردد. چالش‌های موجود در به‌کارگیری ضوابط آیین‌نامه‌ها و توصیه‌های استانداردهای مرجع به‌وضوح در مسائل نمونه نشان داده شده و مورد بحث قرار گرفته‌اند.

یکی از ویژگی‌های خاص این راهنما، اتکای تقریباً کامل به آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان (IBC)، تفسیرها و استانداردهای مرجع آیین‌نامه و نشریات است. تاکنون بیشتر منابع موجود در زمینه قابلیت بهره‌برداری بر اساس تحقیقات و گزارش‌های فردی بوده که هدف اصلی آن‌ها پیش‌بینی دقیق رفتار قابلیت بهره‌برداری است. این راهنما، به‌طور خاص محدود به استفاده از اطلاعات موجود در آیین‌نامه IBC و استانداردهای مرجع آیین‌نامه و همچنین تفاسیر آن‌هاست. هر جا مناسب باشد، نویسنده از نشریات خاصی که به‌طور صریح توسط IBC، استانداردهای مرجع آن و تفاسیر آن‌ها استناد شده است، برای تکمیل ضوابط آیین‌نامه استفاده کرده است.

گستره وسیع مصالح، سیستم‌ها و اجزای ساختمانی این راهنما نسبتاً منحصر به فرد است. بیشتر منابع یا راهنماهای مربوط به قابلیت بهره‌برداری به تعداد محدودی از مصالح سازه‌ای، سیستم‌ها/اجزای سازه‌ای، یا حالت‌های حدی قابلیت بهره‌برداری می‌پردازند. این راهنما تلاش می‌کند تا اکثریت مصالح سازه‌ای، سیستم‌ها، اجزا و حالت‌های حدی مواجه شده در طراحی انواع ساختمان‌های رایج را پوشش دهد. این راهنمای طراحی شامل مباحث مربوط به پل‌ها، تأسیسات صنعتی، ساختمان‌های بلندمرتبه، سیستم‌های دهانه بلند یا بارهای خاص ساختمان نمی‌شود. در نهایت، مسائل نمونه ارائه شده در این راهنما به‌صورت جامع و با استفاده از پروژه‌های واقعی ساختمانی ارائه شده‌اند. این قالب شامل ۲۶ مثال از طراحی یا ارزیابی قابلیت بهره‌برداری است

www.Kelab.ir

که از بخش‌های مختلف هفت سازه ساختمانی گرفته شده‌اند. با توجه به طیف گسترده مثال‌های آورده شده، مهندس طراح به رویکردی سیستمی جامع برای حل مسائل در بحث قابلیت بهره‌برداری می‌تواند پی ببرد. ما پیش‌بینی می‌کنیم که این راهنما عمدتاً توسط مهندسین متخصص طراح مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، این راهنما به‌گونه‌ای سازماندهی شده که به‌راحتی توسط اساتیدی که کلاس‌های مبتنی بر سیستم‌های سازه‌ای پیشرفته را تدریس می‌کنند نیز مورد استفاده قرار گیرد. این راهنما توسط سایر افراد در صنعت ساخت‌وساز، مانند معماران و متخصصان حقوقی نیز به‌عنوان مرجعی برای الزامات آیین‌نامه‌ای مربوط به عملکرد قابلیت بهره‌برداری ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

www.ketab.ir

مقدمه‌ای بر قابلیت بهره‌برداری

طراحی تلاشی برای توسعه روشی بهینه، برای برآورده‌کردن یا پاسخ‌گویی به نیازی تعریف‌شده است. برای کسانی در حیطه مشغول می باشند[۵]، این پاسخ‌ها به شکل ساختمان‌ها، پل‌ها یا دیگر سازه‌هایی است که های موردنظر را احاطه و از آن‌ها پشتیبانی می‌کنند. ساختمان‌ها کاربری هایی مانند تجاری، مسکونی و انبار دارند[۷]. یکی از عملکردهای ساختمان، پشتیبانی فیزیکی از افرادی است که به تجارت خود مشغول‌اند، در خود استراحت می‌کنند یا از کنسرت موسیقی لذت می‌برند. ساختمان همچنین پوسته‌ای را برای کنترل محیط اطراف ساکنین فراهم می‌کند. در پایان، ساختمان فضایی با کیفیت تعریف‌شده را ارائه می‌دهد که در آن فعالیت انجام می‌شود. پل‌ها از حمل‌ونقل افراد یا کالا با قطار یا سایر وسایل نقلیه پشتیبانی کنند. برج‌های مراقبت ترافیک هوایی به ناظران ترافیک هوایی این امکان را می‌دهند که هواپیماهای استفاده‌کننده از فرودگاه را ببینند و با آن‌ها در ارتباط باشند. به طور خلاصه، ساختمان‌ها و سازه‌های غیر ساختمانی برای انجام وظایف خاص طراحی و ساخته می‌شوند.

ارزش سازه‌ای مانند ساختمان یا پل، با ویژگی‌های زیر می‌تواند تعیین گردد:

۱. عملکردهایی که از فعالیت‌های موردنظر پشتیبانی می‌کنند چقدر خوب است، ۲. وضعیت فضایی که فعالیت در آن انجام می‌شود، ۳. عمر مفید مورد انتظار سازه که باقی می‌ماند.

هنگامی‌که ساختمان یا سازه دیگر عملکردهای موردنظر خود را نمی‌تواند انجام دهد، "خراب" شده است. در صنعت، اصطلاح گسیختگی زمانی که به سازه‌ای مربوط می‌گردد، معمولاً برای موارد خاصی لحاظ می‌گردد که سازه دیگر بارهای اعمال‌شده توسط استفاده موردنظر از سازه را نمی‌تواند تحمل کند. این نوع گسیختگی به عنوان نقض حالت حدی مقاومت شناخته می‌شود.

بااین‌حال، گسیختگی که مالک یا کاربر سازه تجربه می‌کند به طور متفاوتی ممکن است تعریف گردد. این امکان وجود دارد که گسیختگی سازه را به‌عنوان کاهش قابل‌توجه کیفیت فضای برآمده از جابه‌جایی یا زوال سیستم سازه‌ای تعریف کند. برای نمونه، یک تکنسین آزمایشگاه به ما می‌گفت که سازه پشتیبان آزمایشگاه در صورتی ویران شده است که ارتعاشات گذرا در کف به او اجازه ندهد آزمایش‌های لازم را تکمیل کند. مالک ساختمانی اداری نشان می‌دهد که اگر خیز طبقات، منجر به طبقاتی شود که هم‌سطح نیستند، سازه ساختمان خراب شده است. این واقعیت که طبقات اداری به طور قابل‌توجهی غیرهم‌سطح هستند، مانع از فروش یا اجاره ساختمان با قیمت رقابتی می‌گردد. مالک ساختمان آپارتمانی بیان می‌کند که اگر تعداد و اندازه ترک‌ها در کف و دیوار اتاق های آپارتمان منجر به کاهش سکونت و اجاره‌بها شود، سازه خراب شده است.

حالت حدی که توسط یکی از گسیختگی‌های ذکر شده در بالا نقض می‌شود، حالت حدی قابلیت بهره‌برداری است.

به‌منظور محافظت از ایمنی و رفاه عموم، سازمان‌ها و نهادهای دولتی برای استفاده در طراحی و ساخت سازه های مهم، دستورالعمل‌های حداقلی را توسعه داده‌اند. آیین‌نامه‌ها و استانداردها عمدتاً بر روی حالت حدی مقاومت تمرکز می‌کنند. بااین‌حال، آن‌ها همچنین شامل بخش‌هایی برای محافظت از سرمایه‌گذاری عموم در عملکرد و ارزش باقی‌مانده سازه می‌شوند. این ضوابط مربوط به حالت حدی قابلیت بهره‌برداری است.

www.ketab.ir

هدف از این راهنمای طراحی، ارائه تفسیر و نمونه‌هایی از اجرای ضوابط و الزامات ویرایش ۲۰۱۲ International Building Code® (IBC®) مربوط به قابلیت بهره‌برداری سازه‌ها است. این راهنما بحث در مورد قابلیت بهره‌برداری را به آن شرایطی که در IBC و استانداردهای خاص مورد اشاره IBC مورد بحث قرار گرفته است، محدود می‌کند. این راهنما بر روی سازه‌های ساختمانی تحت بارهای ثقلی، باد و زلزله تمرکز می‌کند. اگرچه برخی از مفاهیم مورد بحث ممکن است اعمال شوند، اما این راهنما به طور ویژه به قابلیت بهره برداری برای پل‌ها، شتاب‌های برآمده از باد یا ارتعاشات، طراحی برای انبساط یا انقباض یا لغزش اتصال نمی پردازد.

۱. طراحی بر پایه حالات حدی

ویرایش ۲۰۱۰ *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures* (ASCE/SEI ۷-۱۰)، حالت حدی را به‌عنوان وضعیتی تعریف می‌کند که فراتر از آن سازه یا عضو برای بهره‌برداری نامناسب می‌گردد و قضاوت می‌شود که دیگر برای عملکرد موردنظر خود مفید نباشد (حالت حدی قابلیت بهره‌برداری) یا ناایمن باشد (حالت حدی مقاومت).

حالت حدی قابلیت بهره‌برداری شامل حداقل سه المان است – بار اعمال‌شده، رفتار سازه و برخی نتایج غیرقابل قبول رفتار سازه‌ای. برای ارزیابی‌پذیرش سیستم سازه‌ای نسبت به حالت حدی قابلیت بهره‌برداری، باید بار و برخی رفتارهای سازه‌ای پیش‌بینی‌شده برآمده از بار و محدودیتی برای آن رفتار تعریف شود.

ارزیابی بهینه و مؤثر حالت حدی قابلیت بهره‌برداری سازه نیازمند تعادلی بین بار اعمال‌شده، رفتار فرض‌شده سازه و معیارهای قابلیت بهره‌برداری است. به‌کارگیری بارگذاری‌های محافظه‌کارانه بر پایه رویدادهای شدید برای تعیین رفتار سازه و سپس مقایسه آن با محدودیت‌هایی که نگرانی‌های کمی را ایجاد می‌کنند یا حداقل قابلیت بهره‌برداری را تضمین می‌کنند، منجر به سازه‌های ناکارآمد، بیش از اندازه محافظه‌کار و گران‌قیمت می‌شود. به طور مشابه، پیش‌بینی‌های رفتار سازه‌ای انجام‌شده با تحلیلی که فرض بر رفتار غیرخطی و مقاطع ترک‌خورده برای سطوح بارگذاری بسیار پایین‌تر از محدوده الاستیک سیستم سازه‌ای دارد، منجر به ارزیابی‌های بیش از اندازه محافظه‌کارانه می‌گردد. در پایان، محدودیت‌های رفتار باید با عملکرد واقعی سیستم‌های درگیر و انتظارات ساکنین ساختمان مطابقت داشته باشد.

۲. بارگذاری‌های قابلیت بهره‌برداری

هنگام تعیین بارهای مناسب برای استفاده در طراحی قابلیت بهره‌برداری یا ارزیابی سازه، موارد متعددی برای بررسی وجود دارد: سطوح بارگذاری مورد انتظار، بارگذاری‌های موردنیاز آیین‌نامه و زمان اعمال بارها. به‌طورکلی، سه سطح بارگذاری مربوط به حالات حدی وجود دارد – نهایی، اسمی و بهره‌برداری.

الف. بارهای نهایی

بارهای نهایی بارهایی هستند که برای طراحی بر پایه مقاومت در IBC استفاده می‌گردند. این بارها به‌عنوان حداکثر بارهایی در نظر گرفته می‌شوند که در طول عمر آن بر روی المان سازه‌ای سیستم ممکن است اعمال گردند. آن‌ها معمولاً با اعمال ضریب بار بیشتر از ۱٫۰ به بارهای اسمی ارائه‌شده در فصل ۱۶ IBC محاسبه می‌شوند.

www.ketab.ir

بارهای باد مشخص‌شده در فصل ۱۶ IBC و محاسبه‌شده با به‌کارگیری فصول ۲۶ تا ۳۰ از ASCE/SEI ۷ فشارهای بار باد نهایی هستند. تفسیر برای فصل ۲۶ ASCE/SEI ۷ تغییر از ویرایش‌های قبلی آیین‌نامه را که ضریب بار ۱٫۶ را برای فشارهای باد برای طراحی بر اساس مقاومت اعمال می‌کرد، مورد بحث قرار می دهد. این امر به دلیل ضریب بار ۱٫۰ اعمال‌شده به مؤلفه نیروی باد در ترکیبات بار طراحی بر اساس مقاومت بخش IBC۱۶۰۵٫۳ آشکار است. بارهای لرزه‌ای مشخص‌شده در فصل ۱۶ با استفاده از۷ ASCE/SEI محاسبه می‌شوند. این بارها نیز در ترکیبات بار بخش ۱۶۰۵ IBC به‌عنوان بارهای نهایی در نظر گرفته می گردند.

ب. بارهای اسمی

بارهای اسمی توسط IBC به‌عنوان بارهای مشخص‌شده در فصل ۱۶ تعریف می‌شوند. این مورد برای بارهای زنده و بارهای برف صادق است؛ اما برای بارهای باد یا لرزه‌ای صادق نیست. بارهای اسمی برای نشان‌دادن حداکثر رویداد محتمل مورد انتظار در طول عمر طراحی سازه در نظر گرفته‌شده‌اند. رایج‌ترین دوره زمانی برای تعیین این حداکثر رویداد محتمل ۵۰ سال است. بارهای زنده اسمی مشخص‌شده در جدول ۱۶۰۷٫۱ IBC (و همچنین جدول ۴٫۱ از ۷ ASCE/SEI) با استفاده از نظرات آگاهانه هیئتی از ۲۵ مهندس سازه برجسته تعیین شده است. بارها مستقیماً از تحقیقات میدانی گسترده و دقیق یا اندازه‌گیری‌ها به دست نیامده‌اند. بارها در هر دوره آیین‌نامه مورد بازنگری قرار خواهند گرفت، اما برای اکثر موارد، سال‌ها بدون تغییر باقی‌مانده‌اند. منشأ این بارها باید در طول هر تحلیل قابلیت بهره‌برداری با استفاده از بارهای اسمی یا بخشی از بارگذاری‌های اسمی در نظر گرفته شود. تفسیر برای فصل ۴ از ۷ ASCE/SEI، بارهای زنده، بیان می‌کند که بارهای کف اندازه گیری شده در بررسی‌های بار زنده معمولاً بسیار کمتر از بارهای اسمی موجود در استاندارد و IBC هستند.

بارهای برف مشخص‌شده در فصل ۱۶ IBC با استفاده از فصل ۷ ASCE/SEI ۷ محاسبه می‌شوند. این بارها بر اساس میانگین بازگشت ۵۰ ساله (MRI) هستند. این بارها به‌عنوان بارهای اسمی در نظر گرفته می شوند. کمیته آیین‌نامه بارهای برف زمینی را با استفاده از تحلیل آماری سوابق آب‌وهوایی تعیین می‌کند.

بارهای باران مشخص‌شده در فصل ۱۶ IBC با استفاده از مقدار آب بارانی که در صورت گسیختگی سیستم زهکشی اصلی روی سقف باقی می‌ماند، تعیین می‌شود. این موضوع در ترکیبات بار بخش ۱۶۰۵ به‌عنوان بار اسمی در نظر گرفته می‌گردد.

ج. بارهای بهره‌برداری

بارهای بهره‌برداری در IBC تعریف یا استفاده نمی‌شوند. بارهای بهره‌برداری در ۷ ASCE/SEI در تفسیر پیوست c، "ملاحظات قابلیت بهره‌برداری"، با عنوان "بارهایی که در نقطه‌ای تصادفی از زمان‌بر سازه کنش می‌کنند" تعریف می‌شوند. این تفسیر با بیان اینکه بارهای مناسب برای استفاده در حالات حدی قابلیت بهره برداری فقط بخشی از بارهای اسمی باشند، ادامه می‌یابد. Ellingwood و Galambos (۱) پیشنهاد کردند که دوره بازگشت تعداد معینی از سال، به‌جای دوره‌هایی که در یک "نقطه تصادفی از زمان" کنش می‌کنند، برای ارزیابی سازه‌ها برای خیزهای کف غیرقابل‌قبول، ممکن است مناسب باشد. بر اساس این تحقیق، تفسیر برای پیوست c ۷ ASCE/SEI نشان می‌دهد که برای طراحی‌های قابلیت بهره‌برداری با استفاده از محدودیت

www.ketab.ir

های تغییر شکل فعلی در اکثر استانداردهای منتشر شده، ترکیبات بار قابلیت بهره‌برداری شامل بارگذاری گذرا موارد زیر را می‌تواند شامل شود:

- کف / سقف – بار مرده اسمی + بار زنده اسمی
- سقف – بار مرده اسمی + ۰٫۵ بار برف اسمی

برای حالات حدی قابلیت بهره‌برداری که شامل بارگذاری طولانی مدت، خزش، نشست یا سایر اثرات است، ترکیب بار پیشنهادی به شرح زیر است:

- بار مرده اسمی + ۰٫۵ بار زنده اسمی

فشار باد در سطح بهره‌برداری به دو روش تعریف می‌شود. برای ارزیابی اجزا و نماسازی سازه‌ها، جدول ۱۶۰۴٫۳ IBC اجازه می‌دهد تا بار باد ۰٫۴۲ برابر بار اجزا و نماسازی در نظر گرفته شود، زمانی که خیزهایی که باید با محدودیت‌های جدول ارزیابی شوند، تعیین می‌گردند. ضریب ۰٫۴۲ ترکیبی از دو ضریب می‌باشد. ضریب اول ضریب ۰٫۶ است که برای تبدیل بار نهایی به بار اسمی استفاده می‌گردد. این ضریب از حالت بار طراحی تنش مجاز ارائه‌شده توسط معادله ۱۶-۱۲ IBC می‌تواند گرفته شود. ضریب دوم ضریب ۰٫۷ است که برای تبدیل بار اسمی به بار سطح بهره‌برداری استفاده می‌شود. بار باد سطح بهره‌برداری بر اساس دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله (MRI)، به‌جای دوره بازگشت ۵۰ساله که برای تعیین بار اسمی استفاده می‌گردد است. ضریب ۰٫۷ تقریباً برابر با مربع نسبت فرض‌شده سرعت باد دوره بازگشت ۱۰ ساله و سرعت باد دوره بازگشت ۵۰ساله است. مربع نسبت، به طور مؤثر تغییر سرعت باد را به تغییر فشار باد تبدیل می‌کند.

روش دوم در تفسیر ۷ ASCE/SEI برای پیوست C آمده است که نقشه‌های سرعت باد را برای محاسبه بارهای قابلیت بهره‌برداری برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله ارائه می‌دهد. این تغییر در رویکرد هنگام اعمال توصیه‌های محدودیت تغییر مکان نسبی جانبی از منابع قدیمی‌تر باید در نظر گرفته شود. توصیه‌های محدودیت تغییر مکان نسبی جانبی از چندین منبع (۲، ۳) به فشارهای باد با استفاده از دوره بازگشت ۱۰ساله اشاره می‌کنند. بااین‌حال، نقشه‌های سرعت باد از زمان‌نگارش این توصیه‌ها به طور قابل‌توجهی تغییر کرده‌اند.

د. بارهای الزامی IBC

بارهای موردنیاز IBC برای استفاده در تحلیل قابلیت بهره‌برداری به محدودیت ارزیابی اعمال‌شده بستگی دارد. الزامات قابلیت بهره‌برداری در بخش ۱۶۰۴٫۳ آمده است. به‌طورکلی، سه ارزیابی در این بخش گنجانده شد. مورد اول و دوم در بخش ۱۶۰۴٫۳٫۱ آمده که بیان می‌کند خیز اعضای سازه‌ای به مقادیر محدودتر ارائه‌شده در جدول ۱۶۰۴٫۳ و چندین استاندارد مصالح مرجع محدود شود. مورد سوم در بخش ۱۶۰۴٫۳٫۶ آمده که شامل محدودیت خیزی است که توسط استانداردی مرجع برای المان غیرسازه‌ای یا مصالح نازک‌کاری تحت‌تأثیر می‌تواند موردنیاز باشد.

جدول ۱۶۰۴٫۳ محدودیت‌های خیزی را ارائه می‌دهد که باید در برابر خیزهای سازه‌ای پیش‌بینی‌شده ناشی از بارهای زنده، باد، برف و مرده اسمی ارزیابی شوند.

استانداردهای مرجع در بخش‌های ۱۶۰۴٫۳٫۲ تا ۱۰۶۴٫۳٫۵ شامل محدودیت‌های خیز و انواع بارگذاری مختلف است. به نظر می‌رسد بارگذاری‌های بهره‌برداری ۳۱۸ ACI به بارهای اسمی مشخص‌شده توسط IBC و ۷ ASCE/SEI اشاره می‌کند.

www.ketab.ir

استاندارد ACI ۳۱۸ شامل بررسی‌های خیز است که اثرات بارهای ماندگار را در نظر می‌گیرد. به نظر می‌رسد که مهندس در تعریف اینکه چه بخشی از بار زنده اسمی باید به‌عنوان بار پایدار اعمال شود، آزادی عمل دارد. مشخصات ANSI/AISC ۳۶۰ به بارهای بهره‌برداری اشاره می‌کند که در ASCE/SEI ۷ تعریف‌شده اند. مشخصات مؤسسه تیرچه فولادی آمریکا (SJI) شامل محدودیت‌های خیزی است که برای استفاده بارهای زنده اسمی مشخص شده است.

مشخصات بنایی ۱۱-۵ ASCE/۱۱-۵۳۰ ACI/۱۱-۴۰۲ TMS به بارهای باد در سطح بهره‌برداری و همچنین بارهای مرده و زنده "غیر ضریب دار" یا اسمی برای استفاده در ارزیابی‌های قابلیت بهره‌برداری اشاره می‌کند. مشخصات بنایی همچنین شامل محدودیت‌های خیز بر اساس "خیز کل" برای پشتیبانی از دیوارهای شیشه‌ای بنایی است.

بخش IBC ۱۶۰۴,۳,۶ شامل محدودیت‌های خیزی است که در استانداردی مرجع برای المان‌های غیرسازه‌ای یا مصالح نازک‌کاری گنجانده شده است. شرایط بارگذاری موردنیاز برای این بررسی‌های خیز از استاندارد به استاندارد دیگر متفاوت خواهد بود و ممکن است با بارگذاری‌های مشخص‌شده در ASCE/SEI ۷ یا IBC مطابقت داشته باشد یا نداشته باشد. مهندس طراح باید این استانداردهای غیرسازه‌ای را برای تعیین بارگذاری های موردنیاز که با محدودیت‌های خیز مطابقت دارند، تحقیق کند.

در نهایت، هنگام درنظرگرفتن انتخاب بارهایی که در طراحی قابلیت بهره‌برداری یا ارزیابی ساختمان استفاده می‌شود، مهندس باید معیار نهایی عملکرد را که در آیین‌نامه گنجانده شده است، در نظر بگیرد. هنگامی‌که سختی یا عملکرد ساختمان موجود زیر سؤال می‌رود، بخش IBC ۱۷۰۹ استفاده از آزمایش بارگذاری در محل را تجویز می‌کند. این آزمایش بیان می‌کند که "تحت بار طراحی، خیز نباید از محدودیت‌های مشخص‌شده در بخش ۱۶۰۴,۳ تجاوز کند. "

بنابراین، عملکرد خیز سازه در نهایت تحت "بار طراحی" ارزیابی خواهد شد. بااین‌حال، اصطلاح "بار طراحی" در IBC تعریف نشده است؛ بنابراین، به نظر می‌رسد که مهندس بارهای طراحی را برای طراحی قابلیت بهره برداری می‌تواند مشخص کند که به بهترین نحو با ویژگی‌ها و پیامدهای معیارهای خیز مطابقت داشته باشد؛ بنابراین، اگر محدودیت‌های جدول IBC ۱۶۰۴,۳ طراحی خیز را کنترل کند، بار اسمی مشخص‌شده توسط IBCبار طراحی خواهد بود. از طرف دیگر، اگر محدودیت خیز دیگری بر طراحی حاکم باشد، مهندس بر اساس استاندارد یا مشخصات مصالح بار طراحی جداگانه‌ای ممکن است تعریف کند. کلید این است که احتمال وقوع بار انتخاب‌شده تاحدامکان با احتمال وقوع موردنظر حالت حدی قابلیت بهره‌برداری که مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت، مطابقت داشته باشد.

۵. تاریخچه بارگذاری

سابقه بارگذاری مفهومی مهم است که باید در هر طراحی یا تحلیل قابلیت بهره‌برداری گنجانده شود. ازآنجایی‌که گسیختگی با آسیب یا ازدست‌رفتن استفاده از برخی از اجزای الحاقی یا المانی از ساختمان تعریف می‌شود، خیزی که در حال تحلیل است، باید خیزی باشد که توسط آن المان یا مؤلفه تکمیلی تجربه می‌گردد. خیزی که توسط المان یا مؤلفه تکمیلی تجربه می‌شود، تفاوت بین خیز در پایان نصب المان و حداکثر خیز تجربه شده در زمانی که المان در جای خود قرار دارد است.

www.kelab.ir

پیش خیز[11] المان‌های سازه‌ای با مهار یا بدون مهار، در صورت وجود، باید در ارزیابی قابلیت بهره‌برداری در گرفته شود. پیش خیز المان‌های سازه‌ای به‌طورکلی برای کاهش اثرات مضر خیزهای[12] مورداستفاده قرار گرفت. المان به‌سمت بالا خمیده می‌شود به‌طوری که وقتی تحت بار مشخصی (معمولاً وزن خود عضو) خم می‌گردد، المان به سطح نزدیک‌تر از زمانی است که پیش خیز نباشد. بنابراین، خیز "مؤثر" برابر با خیز واقعی من‌های پیش خیز خواهد بود. بنابراین، اگر المانی سازه‌ای دارای پیش‌خیزی معادل ۷۵ درصد خیز وزن خود محاسبه‌شده باشد، در آن صورت تنها ۲۵ درصد از خیز وزن خود هنگام ارزیابی المان در برابر محدودیت‌های خیز بار مرده در نظر گرفته می‌شود.

در عمل، ممکن است مهندس سازه از زمانبندی نصب نازک کاری[13] ساختمان مطلع نباشد. بااین‌حال، زمان نهایی یا المان‌های غیرسازه‌ای در ساختمان، تأثیر قابل توجهی بر قابلیت پذیرش طرح‌هایی داشته باشد که از سیستم‌هایی با خزش و انقباض استفاده می‌کنند. برای مثال، در سازه‌های بتنی پیش‌تنیده نشده، خیزی که ناشی از بارگذاری پایدار است، به طور معمول در طول دورهٔ پنج‌ساله، دوبرابر خیز اولیه در نظر گرفته می‌شود. بااین‌حال، بخش زیادی از این خیز در ماه‌های اول پس از برداشتن قالب‌ها رخ می‌دهد؛ بنابراین، اگر نصب نهایی‌های داخلی حیاتی مانند کف‌پوش سنگی یا سقف‌های گچ‌بری تا سه ماه پس از برداشتن تکیه‌گاه‌ها به تعویق بیفتد، خیزی که ناشی از اثرات بارگذاری پایدار وزن خود سازه است ممکن است تا ۵۰ درصد کاهش یابد.

زمان اعمال بار نیز ضریب مهمی برای المان‌هایی می‌تواند باشد که بارهای طبقاتی را که بعد از نصب المان‌های معماری ساخته می‌شوند، منتقل می‌کنند. همین موضوع برای سازه‌هایی که برای پشتیبانی از گسترش‌های آینده عمودی یا افقی طراحی‌شده‌اند نیز مهم است.

www.ketab.ir

I.۲ تحلیل قابلیت بهره‌برداری

پاسخ المان یا سیستم سازه‌ای به بارهای سطح بهره‌برداری به‌صورت الاستیک ممکن است فرض شود. این فرض با این واقعیت که اکثر تحلیل‌های خیز موردنیاز آیین‌نامه بر اساس حداکثر اسمی و نه بارهای بهره‌برداری هستند، پیچیده می‌شود. بااین‌حال، ازآنجایی‌که بارهای بهره‌برداری کمتر از بارهای اسمی در نظر گرفته می گردند، انجام تحلیل قابلیت بهره‌برداری با استفاده از بارهای اسمی و رفتار الاستیک مصالح، عموماً محافظه کارانه می‌باشد. این محافظه‌کاری ممکن است برای تحلیل‌هایی که تغییر شکل‌های ماندگار را در نظر می‌گیرند، بیش از حد شود. تغییر شکل‌های ماندگار ناشی از ترک‌خوردن المان، خزش مصالح تحت بار یا انقباض مصالح در طول زمان ممکن است باشد. فرض بر اینکه حداکثر بارهای اسمی برای مدت طولانی اعمال شوند، منجر به برآوردهای بیش از حد محافظه‌کارانهٔ خیز می‌تواند شود. هنگام محاسبه اثر بارهای ماندگار، طراح باید کاهش بارهای اسمی موردنیاز آیین‌نامه‌های ساختمانی را در نظر بگیرد.

تحلیل قابلیت بهره‌برداری همچنین باید با معیارهای قابل‌قبولی که در ارزیابی استفاده می‌شود، مطابقت داشته باشد. بسیاری از معیارهای قابلیت بهره‌برداری به‌عنوان محدودیتی برای خیز تحت شرایط بارگذاری خاصی ارائه می‌شوند. برخی دیگر حد خیزی را که پس از نصب نهایی یا المان‌هایی که ممکن است توسط آن خیز آسیب ببینند، ارائه می‌دهند. تحلیل قابلیت بهره‌برداری باید مشخصات مصالح، مشخصات عضو و اثرات زمان را در هر نقطه از بزرگی بار و تاریخچهٔ آن در نظر بگیرد.

استاندارد ACI ۳۱۸ شامل چندین الزام و راهنمایی مرتبط با تحلیل سازه‌های بتنی برای مسائل قابلیت بهره برداری مربوط به خیز است. برای خیز در اعضای خمشی، بخش‌های ۹,۵,۲,۳ تا ۹,۵,۲,۵ شامل الزاماتی است که با تأثیر سختی، خزش و انقباض بر تحلیل خیز سروکار دارد. بخش‌های ۹,۵,۴,۱ و ۹,۵,۴,۲ دستورالعمل‌هایی را برای تعیین تغییر شکل‌ها در المان‌های بتنی پیش‌تنیده ارائه می‌دهند.

بخش ۱۰,۱۰,۴ استاندارد ACI ۳۱۸ شامل الزاماتی برای تحلیل مرتبه دوم الاستیک مرتبط با تغییر مکان نسبی جانبی است. شرح این بخش بیان می‌کند که مقادیر سختی (EI) حاصل از این الزامات فقط برای طراحی بر اساس مقاومت در نظر گرفته‌شده‌اند و نشان‌دهندهٔ سختی اعضای سازه درست قبل از شکست هستند. در عمل، بسیاری از مهندسان از این الزامات در محاسبهٔ تغییر مکان جانبی در تحلیل قابلیت بهره‌برداری استفاده می‌کنند. استفاده از این خواص برای تحلیل‌های قابلیت بهره‌برداری منجر به نتایج بسیار محافظه‌کارانه‌ای خواهد شد. در تحلیل قابلیت بهره‌برداری، مشخصات اعضای سازه‌ای بتنی باید میزان ترک‌خوردگی مورد انتظار را در بارهای سطح بهره‌برداری در نظر بگیرند.

مگر اینکه برآورد دقیق‌تری از تأثیر ترک‌خوردگی بر سختی عضو انجام شود، استفاده از ممان‌های اینرسی اعضا ۱,۴۳ برابر با آنچه با استفاده از بخش ۱۰,۱۰,۴ استاندارد ACI ۳۱۸ به دست می‌آید، مجاز است. رویه‌های دقیق‌تر برای تعیین مشخصات مصالح و عضو برای تحلیل قابلیت بهره‌برداری تغییر مکان جانبی در شرح (تفسیر) بخش ۱۰ استاندارد ACI ۳۱۸ ذکر شده است.

در قاب‌های با کف عرشه فولادی و سقف با قاب بندی فولادی[۱۲]، بسیاری از اتصالات پیچشی برای طراحی اساس مقاومت به‌عنوان لولا (اتصال مفصلی) در نظر گرفته می‌شوند. این فرض برای سطوح بارگذاری ضریب دار یا نهایی مناسب است. بااین‌حال، در بارهای سطح بهره‌برداری، اتصالات پیچشی در قاب‌های بال‌پهن[۱۵]، محدودیت چرخشی قابل‌توجهی می‌توانند فراهم کنند. این محدودیت چرخشی ممکن است خیز واقعی را تا ۸۰ درصد کمتر از آنچه با فرض تیر مفصلی پیش‌بینی می‌شود، کاهش دهد(۱). تحلیل‌های قابلیت بهره‌برداری قاب های کف کامپوزیت (دال بتنی روی تیرهای فولادی) باید سختی‌های الاستیک مؤثر را که در بارهای سطح بهره‌برداری محاسبه‌شده‌اند، در نظر بگیرند. همچنین خیزهای بلندمدت ناشی از خزش و انقباض بال فشاری بتنی باید در نظر گرفته شود.

اکثریت‌قریب‌به‌اتفاق محدودیت‌های خیز قابلیت بهره‌برداری منتشر شده، برای اعمال به تغییر شکل‌هایی در نظر گرفته‌شده‌اند که با استفاده از تحلیل‌های مرتبه اول الاستیک با مشخصات اعضا محاسبه‌شده در بارهای سطح بهره‌برداری به‌دست‌آمده‌اند. طراح باید از تأثیرگذاری لحاظ‌کردن اثرات مرتبه دوم و کاهش سختی اعضا که در رویه‌های تحلیل گنجانده شده‌اند، آگاه بوده و آن‌ها را در نظر بگیرد. برای مثال، فصل C استاندارد ANSI/AISC ۳۶۰نیازمند تحلیل مرتبه دوم برای طراحی بر اساس مقاومت است. روش تحلیل مستقیم شامل کاهش سختی اعضای سازه‌ای برای درنظرگرفتن اثرات لاغری در بارهای نهایی است. همچنین استاندارد ACI ۳۱۸نیز در بخش‌های ۱۰,۱۰,۵ تا ۱۰,۱۰,۷ بزرگ‌نمایی ممان را در نظر می‌گیرد.

I.۳ معیارهای قابلیت بهره‌برداری

شرح (تفسیر) پیوست C استاندارد ASCE/SEI ۷ بیان می‌کند که "... معیارهای قابلیت بهره‌برداری برای اطمینان از عملکرد کاربردی و به‌صرفه‌بودن طراحی ضروری هستند... ". علاوه بر این، معیارهای قابلیت بهره

www.ketab.ir

بردارى براى حفظ محتويات ارزشمند داخل ساختمان‌ها، ضرورى هستند. آسيب و زوال وارده نازک کارى [۱۶] و المان‌هاى غيرسازه‌اى در طول عمر ساختمان، ارزش و کاربرى آن را براى مالک و همچنين عموم مردم کاهش مى‌دهد.

تا تاريخ انتشار اين متن، جامعه مهندسى سازه، استانداردى مورد بررسى، توافق‌شده و مبتنى بر تحقيق براى معيارهاى قابليت بهره‌بردارى ندارد؛ بنابراين، از مهندس طراح انتظار مى‌رود که معيارهاى قابل‌اجرايى را به‌تنهايى تعيين کند. اين امر مستلزم درک خوبى از خاستگاه، محدوديت‌ها و فرضيات گنجانده شده در معيارهاى قابليت بهره‌بردارى ارائه‌شده در IBC و همچنين ساير نشريات و استانداردهاى مرجع است.

براى تعيين محدوديت‌ها و معيارهاى قابليت بهره‌بردارى، مهم است که عملکرد يا رفتارى که قابليت بهره‌بردارى ساختمان را کاهش مى‌دهد، به طور واضح تعريف شود. عملکرد قابليت بهره‌بردارى سازه‌اى را عموماً در سه دسته مى‌توان طبقه‌بندى کرد:

- تغيير شکل‌هاى استاتيکى
- تغيير شکل‌هاى ديناميکى (ارتعاشات)
- زوال

در ادامه، تغيير شکل‌هاى استاتيکى و ديناميکى با جزئيات بيشتر مورد بحث قرار خواهند گرفت. زوال تسهيلات که ناشى از رفتار يا عملکرد غيرقابل‌قبول سازه است، خارج از محدوده اين سند است.

۱ .تغيير شکل استاتيکى

تغيير شکل استاتيکى المان يا سيستم سازه‌اى به طور معمول با عنوان "خيز" شناخته مى‌شود. ايجاد خيز يا تغيير شکل‌هاى استاتيکى بيش از حد، منجر به مشکلات مختلفى در قابليت بهره‌بردارى سازه مى‌تواند شود (۱).

الف. آسيب به اجزاى غيرسازه‌اى مانند آسيب به نازک کارى معمارى [۱۷] (مانند سنگ، موزائيک، گچکارى، سفيدکارى، سيمان کارى و غيره) و المان‌هاى معمارى (مانند پارتيشن (ديوار غير سازه اى) داخلى و خارجى، زيرسازى سقف) [۱۸]

ب. آسيب رسيدن به عملکرد اثاثيه متاثر از ارتعاش و خراب شدن مبلمان (صندلى، ميز ناهارخورى يا ميزتحرير، ناترازى و بهم خوردن کاليبراسيون تجهيزات کارگاهى حساس به ارتعاش ، اعوجاج چهارچوب و گيرکردن درب ها در هنگام باز و بسته شدن، عدم ثبات قفسه‌هاى بايگانى) و تاسيسات (لوله‌کشى، قفسه هاى متراکم بايگانى متحرک دو طرفه، آسانسور، تيغه‌هاى جداکننده قابل‌حرکت، پوشش پشت‌بام) [۱۹]

ج. ازدست‌دادن کارايى در بهره‌بردارى در اختلال عملکرد پرسنل (به‌عنوان‌مثال، پريشانى ناشى از نشست ناترازى کف طبقات، نگرانى در مورد علائم گسيختگى در پوشش‌ها) و نياز به تعميرات و نگهدارى مورد نياز براى تعمير يا تعويض پوشش‌ها و المان‌هاى آسيب‌ديده يا نامناسب. [۲۰]

د. زوال سازه ساختمان و المان‌ها و پوشش‌هاى غيرسازه‌اى به دليل نفوذ آب، مصالح يخ‌زدا يا ساير مصالح از طريق ترک‌ها يا اتصالات دچار اعوجاج شده.

بحث دقيق‌تر در مورد مسائل مربوط به قابليت بهره‌بردارى ناشى از تغيير شکل‌هاى استاتيکى يا خيز را در مراجع ۳، ۴، ۵ و ۶ مى‌توان يافت.

محدوديت‌هاى قابليت بهره‌بردارى براى تغيير شکل‌هاى استاتيکى به چندين متغير بستگى دارد، از جمله:

www.ketab.ir