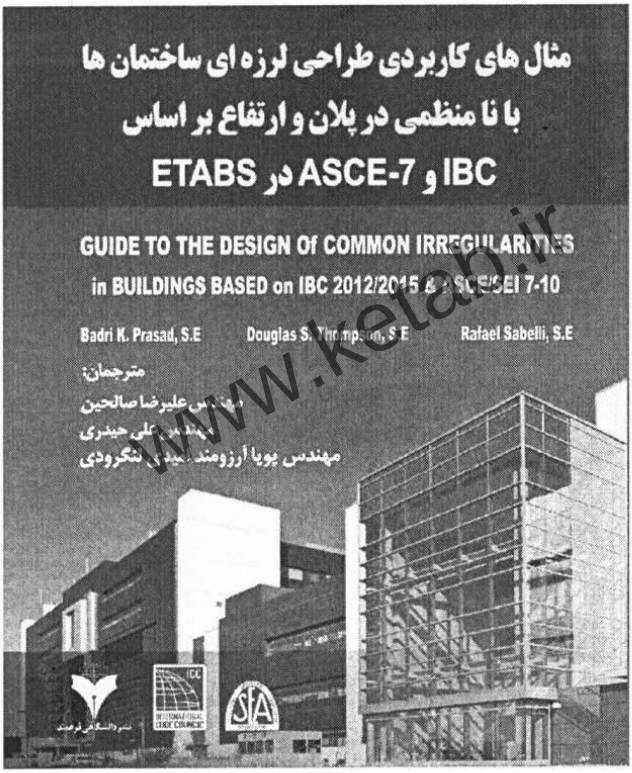
مثال ها و راهنمای طراحی برای نامنظمی های متداول در ساختمان ها بر اساس IBC و ASCE-۷ در ETABS



www.ketab.ir

Rafael Sabelli, S.E ،Douglas S. Thompson, S.E ،Badri K. Prasad, S.E
مولفین : رافائل سابلی / داگلاس اس تامپسون / بدری پراساد
مترجمان: مهندس علیرضا صالحین، مهندس علی حیدری و مهندس پویا آرزومند امیدی لنگرودی

نشر دانشگاهی فرهمند

نام کتاب: مثال ها و راهنمای طراحی برای نامنظمی های متداول در ساختمان ها بر اساس ETABS در ASCE-۷ و IBC

مولفین : رافائل سابلی / داگلاس اس تامپسون / بدری پراساد

مترجمان: مهندس علیرضا صالحین، مهندس علی حیدری و مهندس پویا آرزومند امیدی لنگرودی

ویراستاران: علیرضا محسنی فخر و امیرزینی و نیلوفر زینی و مهندس حامد قدسی خواه و حمیدرضا صالحین

سال چاپ: ۱۴۰۳

نوبت چاپ: اول

شمارگان: ۱۰۰

بها: ۲۲۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۸-۰۳-۴۹۸۰-۶۲۲-۹۷۸

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فرهمند محفوظ می‌باشد

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

تلفن: ۶۶۴۱۰۶۸۸-۶۶۹۶۸۶۱۴

[illegible]	:	پراساد، بدری کی. Prasad, Badri K.
عنوان و پدیدآور	:	مثال‌ها و راهنمای طراحی برای نامنظمی‌های متداول در ساختمان‌ها بر اساس IBC و ASCE-7 در ETABS/مولفین بدری پراساد، داگلاس اس. تامپسون، رافائل سابلی ؛ مترجمان علیرضا صالحین [illegible]، مهدی حیدری، پویا آرزومند امیدی لنگرودی.
مشخصات نشر	:	تهران: نشر دانشگاهی فرهمند، ۱۴۰۳.
مشخصات ظاهری	:	۱۸۷ ص.: مصور. جدول. نمودار.
شابک	:	۲۲۰۰۰۰۰ ریال:978-622-4980-03-8
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Guide to the design of common irregularities in buildings : 2012/2015 ... 2015.
یادداشت	:	کتابنامه.
موضوع	:	طراحی سازه Structural design ساختمان‌ها Building layout
شناسه افزوده	:	تامپسون، داگلاس اس. Thompson, Douglas S. structural engineer
شناسه افزوده	:	سابلی، رافائل Sabelli, Rafael
شناسه افزوده	:	صالحین، علیرضا، ۱۳۶۵ - ، مترجم
شناسه افزوده	:	حیدری، علی، ۱۳۶۵ - ، مترجم
شناسه افزوده	:	آرزومند امیدی لنگرودی، پویا، ۱۳۶۱، مترجم
رده بندی کنگره	:	TA۶۴۵۹
رده بندی دیویی	:	۶۲۴/۱۷۶
شماره کتابشناسی ملی	:	۹۷۸۱۶۴۶۵۹
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا

www.ketab.ir

مقدمه مترجمان:

همگی مطلع هستیم با وضعیت موجود، چه قدر دسترسی به منابع روز دنیا سخت و مشکل بوده و روز به روز هم دشوارتر می گردد، دسترسی به منابع معتبر و کاربردی یکی از نیازهای اساسی مهندسان و دانشجویان است. کتاب Guide to the Design of Common Irregularities in Buildings با ارائه راهکارهای نوین و عملی در طراحی نامنظمی‌های متداول در ساختمان‌ها، یکی از معدود منابع برجسته در این حوزه است. این کتاب با همکاری گروهی از نویسندگان به سرپرستی James R. Harris و ویرایش Andrew Whittaker تهیه و توسط انتشارات معتبر ICC (International Code Council) منتشر شده است. انتشارات ICC به عنوان یکی از ناشران پیشرو در زمینه استانداردهای ساختمانی و مهندسی، همواره تلاش کرده است تا با ارائه منابع جامع و به‌روز، نیازهای مهندسان را در سطح بین‌المللی برآورده سازد.

این کتاب به دلیل محتوای کاربردی و جامع خود، به عنوان یکی از منابع اصلی برای آمادگی در آزمون ورودی مهندسی سازه (SE Exam) شناخته می‌شود . آزمون SE به عنوان یکی از چالش‌برانگیزترین آزمون‌های حرفه‌ای در مهندسی سازه، نیازمند تسلط بر مفاهیم پیشرفته و کاربردی است که این کتاب به خوبی 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، به خصوص در صورتی که نیاز به گذراندن آزمون های حرفه ای ورود به حرفه در کانادا و آمریکا را داشته باشد، ضد البته که امتحانات نظام مهندسی نیز از منابع مشترکی بهره می برد:

۱. راهنمای طراحی مهار برون صفحه ای دیوارها، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس علی حیدری

۲. مثال های طراحی کاربردی ساختمان ها با جداسازهای لرزه ای و میراگرهای ویسکوز (جلد پنجم راهنمای طراحی لرزه ای SEAOC) ، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس علی اکبر خلیلی

۳. مثال های طراحی کاربردی دیافراگم ها تیر تیغه ها و جمع کننده های بار در سازه های بتنی و فولادی، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس نیما اصغری

۴. رفع ابهامات ، همراه با مثال های کاربردی بارگذاری لرزه ای آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس حمیده سلطانیه

۵. رفع ابهامات ، همراه با مثال های کاربردی بارگذاری برف بر سازه ها بر اساس مبحث ششم مقررات ملی و ASCE۷-۱۰، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس بهاره بهرامی

۶. رفع ابهامات ، همراه با مثال های کاربردی بارگذاری باد بر سازه ها بر اساس مبحث ششم مقررات ملی و ASCE۷-۱۰، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس مسعود غیاث الدین

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

۸. دیتیل ها و طراحی ساختمان های فولادی مقاوم در برابر زلزله با رویکرد رفتار شناسی اعضاء به روش LRFD (مرجع برای بخش آزمون طرح لرزه ای سازه های فولادی) ، مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس علی حیدری

۹. مثال های کاربردی طراحی سیستم های ساختمانی برای قابلیت بهره برداری بر اساس IBC و ASCE-۷ . مترجمان: مهندس علیرضا صالحین و مهندس پویا آرزومند امیدی لنگرودی

www.ketab.ir

آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران یکی از مهم‌ترین مراجع فنی در طراحی و اجرای ساختمان‌ها در مناطق زلزله‌خیز کشور است. بر اساس ادعای بیان شده، این آیین‌نامه بر اساس تحقیقات و مطالعات علمی و فنی به‌روز تدوین شده و همواره با توجه به پیشرفت‌های جدید علمی و تجربیات حاصل از زلزله‌های گذشته، به‌روزرسانی می‌شود. اما در حقیقت این آیین نامه یک ترجمه از روی آیین نامه های آمریکایی مانند ASCE و اروپا Eurocode است، اما متاسفانه هم ترجمه ناقص است، هم آنکه تفسیر این آیین نامه توسط متولی آن بیرون داده نشده، بنابراین هر کس برای خودش تفسیر به رای می نماید، علاوه بر آن در کشورهای لرزه خیز و پیشرفته علاوه بر تفسیر آیین نامه، مجموعه راهنمای تکمیلی و مثال های طراحی و حتی مجموعه کتب و سیمنارهای کاربردی رفع ابهامات و خطاها رایج برگزار می گردد که این امر در ایران به نحو شایسه وجود ندارد. باری، یکی از موارد کلیدی در این آیین‌نامه، توجه به نامنظمی‌های مختلف در سازه‌ها است که می‌تواند به‌طور مستقیم بر عملکرد و پایداری آن‌ها در برابر زلزله تأثیر بگذارد. نامنظمی‌های سازه‌ای به وضعیتی اشاره دارند که در آن، رفتار یک ساختمان تحت بارهای زلزله از رفتار یک ساختمان معمولی و متقارن متفاوت باشد. توجه به نامنظمی‌ها در طراحی و اجرای ساختمان‌ها ضروری است زیرا این نامنظمی‌ها می‌توانند باعث افزایش تمرکز تنش‌ها و در نتیجه آسیب‌پذیری بیشتر ساختمان در برابر زلزله شوند .

بررسی اجمالی اثرات نامنظمی در زلزله‌های جهانی و ایران بر روی ساختمان و سایر سازه ها:

زلزله کرایست‌چرچ (۲۰۱۱)، نیوزیلند: زلزله کرایست‌چرچ یکی از نمونه‌های بارز تأثیر نامنظمی‌ها بر عملکرد سازه‌ها بود. در این زلزله، بسیاری از ساختمان‌ها به دلیل عدم توجه به نامنظمی‌های افقی و عمودی دچار آسیب‌های جدی شدند. ساختمان‌های بلند مرتبه‌ای که در پلان و ارتفاع نامنظمی داشتند، با آسیب‌های ساختاری مواجه شدند.

زلزله نورث‌ریج (۱۹۹۴)، ایالات متحده: در زلزله نورث‌ریج کالیفرنیا، بسیاری از ساختمان‌ها به دلیل وجود نامنظمی‌های مختلف در پلان و ارتفاع به شدت آسیب دیدند. یکی از نمونه‌های بارز، ساختمان‌های مسکونی با طبقه‌های نرم بود که در آنها طبقه همکف به دلیل پارکینگ‌های بدون دیوار برشی و کمبود مقاومت جانبی، تحت بارهای زلزله دچار فروپاشی شدند .

زلزله کوبه (۱۹۹۵)، ژاپن: این زلزله به وضوح نشان داد که چگونه نامنظمی‌های عمودی می‌توانند به فاجعه‌های ساختاری منجر شوند. پل‌های بزرگراه هانشین به دلیل نامنظمی‌های هندسی و عدم پیوستگی در عناصر باربر جانبی دچار خرابی شدند. ساختمان‌هایی که دارای طبقات نرم بودند نیز به شدت آسیب دیدند.

زلزله بم (۲۰۰۳)، ایران: در زلزله بم، بسیاری از ساختمان‌های خشتی و آجری که فاقد طراحی مناسب برای نامنظمی‌ها بودند، فرو ریختند. این زلزله نشان داد که عدم رعایت اصول طراحی لرزه‌ای و نامنظمی‌ها چقدر می‌تواند خطرناک باشد .

زلزله کرمانشاه (۲۰۱۷)، ایران: در زلزله کرمانشاه، مشاهده شد که بسیاری از ساختمان‌های مسکونی و تجاری به دلیل وجود نامنظمی‌های افقی و عمودی دچار آسیب‌های جدی شدند .

برای اشاره به برخی از ساختمان‌های معروف آسیب‌دیده بر اثر نامنظمی در ساختار آنها می توان به موراد زیر اشاره نمود:

- برج‌های مسکونی در زلزله نورث‌ریج ایالات متحده آمریکا، برج‌های مسکونی با سازه‌های فولادی و بتنی که به دلیل نامنظمی‌های افقی و طبقه‌های نرم آسیب دیدند.

www.ketab.ir

- پل‌های بزرگراه هانشین در زلزله کوبه ژاپن، این پل‌ها به دلیل نامنظمی‌های هندسی و فقدان اتصال مناسب در عناصر باربر جانبی تخریب شدند.

- ساختمان‌های تجاری در کرایست‌چرچ نیوزیلند، ساختمان‌های تجاری با نامنظمی در پلان و ارتفاع که تحت بار زلزله دچار آسیب‌های جدی شدند.

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 به کار گیرند. کتب منتشر شده توسط انتشارات ICC از جمله منابع اصلی و معتبر در حوزه مهندسی عمران هستند که به دلیل دقت و جامعیت در تدوین، مورد توجه جامعه مهندسی قرار گرفته‌اند. این کتاب نیز با پوشش جامع موضوعات مربوط به نامنظمی‌ها و ارائه راهکارهای عملی، می‌تواند به عنوان یک راهنمای عملی و تئوریک برای مهندسان و دانشجویان در طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله مورد استفاده قرار گیرد.

از نقاط قوت این کتاب می توان به خلاصه بودن، سر راستی و مثال محور بودن اشاره نمود، این کتاب مجموعه از مثال های ساده سازی شده حل شده را با سیستم های مختلف سازه ای مورد طراحی و ارزیابی قرار می دهد.

از کمک های دوست عزیز و قدیم خودم مهندس علی حیدری که افتخار چند هزار صفحه ترجمه سنگین، ارزشمند و خط شکن را با یکدیگر داشتیم، بینهایت سپاسگزارم، این فرد برای بنده در زنده یکی از اسوه های افتادگی و اخلاق در جامه عمل می باشد، چرا که سالیان سال در بدترین شرایط یار و یاور بنده، انتشارات و کمک دست هموطنان خویش بوده است.

همچنین نباید حمایت و پشتیبانی و همدلی جناب آقای علیرضا فرهمندزادگان، مدیر نشر دانشگاهی فرهمند را در این بین نیز نادیده گرفت و از ایشان کمال تشکر را داریم. امید است که این کتاب با ترجمه و نشر در ایران، به عنوان مرجعی ارزشمند در ارتقای دانش و توانمندی‌های حرفه‌ای مهندسان و دانشجویان ایرانی نقش مهمی ایفا کند.

هیچ اثر بی نقصی وجود ندارد، لطفاً نقطه نظرات خویش را با نشر دانشگاهی فرهمند ، با کانال: @farhamandpress، اینستاگرام : @nashr.farahmand، وب سایت: 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 ...) می باشد، در دسترس و دانلود می باشد و عزیزان می توانند منابع مورد نیاز خود را از آنها تهیه و استفاده نمایند.

مهندس علیرضا صالحین، مهندس علی حیدری، مهندس پویا آرزومند امیدی لنگرودی - تابستان ۱۴۰۳

www.ketab.ir

فـهـرسـت عـنـاویـن

مقدمه نگارنده..... ۹
مثال طراحی ۱ ، طراحی دیافراگم بتنی - ساختمان چهار طبقه..... ۱۵
مثال طراحی ۳: دیافراگم چوبی انعطاف‌پذیر با نامنظمی‌های پلان..... ۶۹
مثال طراحی ۵، ساختمان فولادی با نامنظمی های پلان..... ۱۶۷

www.ketab.ir

مقدمه نگارنده

مواجهه با ساختمان‌هایی که دارای نامنظمی‌های سازه‌ای هستند، امری غیرمعمول نیست. چیدمان پلان، زیبایی‌شناسی، طراحی فضا و مسائل دیگر اغلب منجر نامنظمی‌های در ساختمان‌ها می‌شوند. زلزله‌های گذشته نشان داده‌اند که ساختمان‌های دارای نامنظمی در مقایسه با ساختمان‌هایی با پیکربندی منظم، عملکرد ضعیف‌تری داشته و آسیب بیشتری دیده‌اند. دلیل این امر این است که تقاضاهای لرزه‌ای اعمال‌شده بر سازه معمولاً به‌طور یکنواخت در سراسر سازه توزیع می‌شوند که این امرَ به پراکندگی اتلاف انرژی و کاهش آسیب کمک می‌کند. با این‌حال، در سازه‌های نامنظم که تقاضاهای لرزه‌ای تمایل دارند در ناحیه‌های نامنظمی متمرکز شوند، این توزیع یکنواخت اتفاق نمی‌افتد و این موضوع منجر به آسیب‌های عمده و شکست عناصر سازه‌ای در این مناطق می‌شود. روش‌های تحلیلی که معمولاً در طراحی سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، قادر نیستند به‌طور کافی به تقاضاهای تحمیل‌شده بر سازه‌های نامنظم پاسخ دهند و در نتیجه ممکن است منجر به طراحی ناقص در نواحی نامنظمی شوند.

نامنظمی‌های ساختاری را می‌توان به دو نوع طبقه‌بندی کرد:

الف. نامنظمی‌های افقی

ب. نامنظمی‌های عمودی

جدول ۱۲,۳-۱ شرایطی را توضیح می‌دهد که در آن ساختمان‌ها باید شناسایی شوند و دارای نامنظمی در پلان باشند. نامنظمی‌های افقی که به دلیل پیچش، گوشه‌های بازگشتی و نامنظمی دیافراگم رخ می‌دهند. نیاز به انتقال نیروی بیشتری از طریق دیافراگم دارند. بحرانی‌ترین نامنظمی‌ها شامل بیرون‌زدگی خارج از صفحه (نامنظمی افقی نوع ۴) در سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی است. چنین بیرون‌زدگی تقاضاهای زیادی بر دیافراگم و همچنین سیستم جانبی وارد می‌کند. در این راهنمای طراحی، روشی گام‌به‌گام برای طراحی دیافراگم‌ها، جمع‌کننده‌ها و وترها برای ساختمان‌هایی با نامنظمی افقی نوع ۴ ارائه شده است.

نامنظمی‌های عمودی عمدتاً بر توزیع بار در ارتفاع ساختمان تأثیر می‌گذارند. جدول ۱۲,۳-۲ شرایطی را شرح می‌دهد که در آن ساختمان‌ها باید شناسایی شوند و دارای نامنظمی عمودی باشند. در این راهنمای طراحی، روشی گام‌به‌گام برای طراحی دیافراگم‌ها، جمع‌کننده‌ها و وترها برای ساختمان‌هایی با نامنظمی عمودی نوع ۴ ارائه شده است. با توجه به این نامنظمی، بارهای تحمیل‌شده در سطوح مختلف می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی با آنچه در روش تحلیل نیروی جانبی معادل (ELF) در آیین‌نامه ارائه شده است، متفاوت باشد. روش تحلیل ELF ممکن است نتواند به‌طور کافی توزیع نیروهای جانبی در ارتفاع ساختمان را برای شرایط زیر ثبت کند:

- توزیع نامنظم جرم
- توزیع نامنظم سختی
- توزیع نامنظم مقاومت طبقه
- ساختمان‌هایی که در آن حرکات جانبی در دو جهت متعامد و حرکات پیچشی با هم جفت می‌شوند
- ساختمان‌هایی که از ترازی به تراز دیگر تغییر قابل توجهی در برش دارند
- دیافراگم‌هایی که در مرکز جرم از ترازی به تراز دیگر بیرون‌زدگی قابل توجهی دارند
- نامنظمی خارج از صفحه و داخل صفحه در سیستم مقاوم در برابر بار جانبی

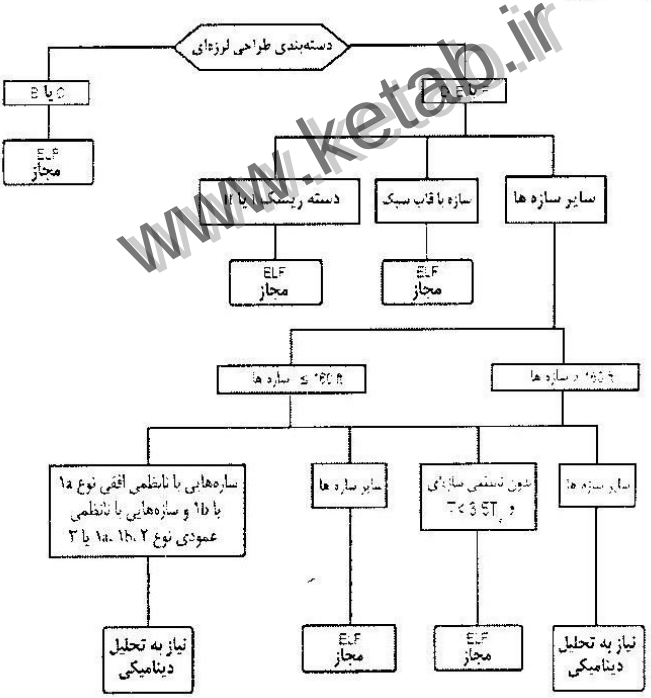
www.ketab.ir

مزیت اصلی روش تحلیل دینامیکی نسبت به ELF این است که در تخمین حداکثر پاسخ تغییرمکان دقت بیشتری دارد. علاوه بر این، روش‌های استاتیکی و دینامیکی غیرالاستیک نسبت به روش‌های الاستیک در تفسیر نامنظمی‌های سازه، بر اساس مطالعات تجربی انجام‌شده توسط پروفسور Moehle و Alarcon در سال ۱۹۸۶، برتری دارند. مقاله‌ای با عنوان «روش‌های تحلیل لرزه‌ای برای ساختمان‌های نامنظم» به این موضوع پرداخته است.

مطالعه‌ای که توسط پروفسور Krawinkler و Al-Ali در سال ۱۹۹۸ انجام شده و در مقاله‌ای با عنوان "اثرات نامنظمی‌های عمودی بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های ساختمان – گزارش شماره ۱۳۰" ارائه شده است، نشان می‌دهد که اثر نامنظمی جرم کمترین است، اثر نامنظمی مقاومت بزرگ‌تر از اثر نامنظمی سختی بوده و اثر ترکیبی سختی و نامنظمی مقاومت بزرگ‌ترین اثر را دارد. این نتایج بر اساس مطالعه مدل ساختمانی ۱۰ طبقه با سیستم قاب خمشی فولادی مقاوم در برابر زلزله (SMRF) به‌دست آمده‌اند.

رویه‌های تحلیلی مجاز

جدول ۱-۶-۱۲ سناریوهای مختلفی را تشریح می‌کند که تحت آن‌ها، روشی خاص برای تحلیل مجاز است. برای ساختمان‌ها در SDC B یا C، تحلیل ELF مجاز است. نمودار مربوطه را می‌توانید در زیر مشاهده کنید (شرکت S.K. Ghosh و همکاران)



برای ساختمان‌های SDC D، E یا F، انجام تحلیل دینامیکی (تحلیل طیف پاسخ مودال یا روش‌های تاریخچه پاسخ لرزه‌ای) بر اساس ارتفاع ساختمان الزامی است. برای ساختمان‌هایی که ارتفاع آن‌ها کمتر از ۱۶۰ فوت (حدود ۴۸.۸ متر) است و دارای نامنظمی‌های پیچشی افقی نوع ۱a یا ۱b و نامنظمی عمودی نوع ۱a یا ۱b، ۲ یا ۳

www.ketab.ir

هستند، تحلیل دینامیکی مورد نیاز است. برای ساختمان‌هایی که ارتفاع بیش از ۱۶۰ فوت دارند و بدون نامنظمی هستند و پریود T آن‌ها کمتر از $3,5T_s$ است، استفاده از روش ELF مجاز است. برای تمامی ساختمان‌های دیگر، تحلیل دینامیکی الزامی است. لازم به ذکر است که برای ساختمان‌های رده ریسک ۱ یا ۱۱ که کمتر از دو طبقه دارند و از ساخت اسکلت سبک برخوردارند، روش ELF مجاز است.

همان‌طور که در تفسیر ASCEv-۱۰ ذکر شده است، روش ELF برای ساختمان‌هایی با نامنظمی‌های خاص مجاز نیست، زیرا فرض تغییر تدریجی توزیع جرم و سختیّ در ارتفاع ساختمان با پیچش ناچیز دیگر معتبر نیست. مبنای محدودیت $3,5T_s$ بر اساس غالب شدن مودهای بالاتر در ساختمان‌های بلندتر است و در نتیجه، روش ELF برش پایه طراحی را ممکن است دست‌کم بگیرد و همچنین ممکن است توزیع عمودی نیروهای لرزه‌ای در ساختمان‌های بلندتر را به‌درستی ثبت نکند.

برای مثال در راهنمای طراحی، از آنجا که ارتفاع ساختاری ساختمان کمتر از ۱۶۰ فوت (حدود ۴۸,۸ متر) است، روش ELF برای ساختمان‌هایی که دارای نامنظمی پلان نوع ۴ و نامنظمی عمودی نوع ۴ هستند، مجاز است.

الزامات آئین‌نامه برای نامنظمی‌ها

این آیین‌نامه مستلزم آن است که همه نامنظمی‌های طرح، به جز نوع ۲ (نامنظمی گوشه برگشتی) و نوع ۳ (نامنظمی نامنظمی دیافراگم)، با استفاده از مدل سه‌بعدی و با حداقل سه درجه آزادی (دو انتقالی و یک چرخشی) تحلیل شوند. علاوه بر این، مدل باید سختی دیافراگم را در مواردی که دیافراگم طبق بخش ۱۲,۳,۱ به عنوان صلب یا انعطاف‌پذیر طبقه‌بندی نشده باشد، شامل کند. برای ساختمان‌هایی که دارای دیافراگم انعطاف‌پذیر هستند، آیین‌نامه برای نامنظمی افقی نوع ۴ استثنا قائل می‌شود (شرایط ذکر شده در بالا مورد نیاز نیست).

هر نمونه در راهنمای طراحی به الزامات مختلف دیگری برای نامنظمی‌های افقی و عمودی مطابق جداول ۱۲,۳-۱ و ۱۲,۳-۲ می‌پردازد. مسائل مربوط به دیافراگم‌های فولادی و طراحی دیافراگم برای ساختمان‌های اسکلت فولادی شامل سه نوع متمایز است: عرشه فولادی، عرشه مرکب (یا دال)، و خرپای افقی.

عرشه فولادی

نوع اول، دیافراگم عرشه فولادی است که در آن برش دیافراگم توسط عرشه تحمل می‌شود، در حالی که اعضای قاب در مقابل نیروهای محوری مربوطه در وترها و جمع‌کننده‌ها مقاومت می‌کنند. انتقال برشی بین عرشه، وترها و جمع‌کننده‌ها با جوش، شات پینینگ (ساچمه‌زنی) یا پیچ انجام می‌شود. از آنجا که اعضای قاب در برابر نیروهای محوری مقاومت می‌کنند، اتصالات آن‌ها باید این نیروها را همراه با برش ثقلی منتقل کنند. چنین اتصالاتی بخشی از سیستم مقاوم در برابر بار لرزه‌ای هستند و مشمول الزامات و محدودیت‌های ASCE ۷ فصل ۱۲ و AISC ۳۴۱. از جمله طراحی برای بار در سطح اضافه مقاومت در SDC C تا F، استفاده از جوش‌های نفوذی، پیش‌تنیدگی پیچ و آماده‌سازی سطوح پایه (جوش‌شونده) هستند.

طراحی متداول این عرشه‌ها بر اساس ایده‌آل‌سازی دیافراگم به عنوان عنصری انعطاف‌پذیر است که به‌طور جانبی به تکیه‌گاه‌های جانبی سخت در قاب‌ها و دیوارها متصل می‌شود. در مورد دال‌های فولادی در سازه‌های قاب خمشی، ASCE ۷ نیازمند است که سختی دیافراگم در تحلیل لحاظ شود. این امر به مدل‌سازی پیچیدگی‌هایی اضافه می‌کند (و چندین مشکل به همراه دارد) و معمولاً به توزیع بهتری از مقاومت منجر نمی‌شود، مگر زمانی که چنین تحلیلی نامنظمی پیچشی را آشکار سازد. این مشکلات شامل مقاومت نامناسب درون‌صفحه‌ای در عناصر دال

www.ketab.ir

مدل‌شده و نیروهای محوری کمتر در مهارها و جمع‌کننده‌ها است. به نظر نویسنده، در مدل‌سازی دال‌های فولادی باید از سختی غشایی به جز سختی برشی صرف‌نظر کرد تا نیروهای طراحی مناسب‌تری حاصل شود.
تحلیل خود دیافراگم به‌طور معمول فرض می‌کند که جمع‌کننده‌ها به‌صورت یکنواخت در طول خود تحت بار برشی قرار دارند. به عبارت دیگر، تحلیل بر اساس برش دال در واحد طول که برابر با کل برش تقسیم بر کل طول است، انجام می‌شود. این واضحاً یک ایده‌آل‌سازی است و نیاز به مقداری قابلیت شکل‌پذیری دارد تا این توزیع برقرار شود. این موضوع حوزه‌ای است که تحقیقات مداوم در آن جریان دارد.

دال یا عرشه مرکب

نوع دوم دیافراگم شامل عنصری بتنی، یا بر روی عرشه‌ای فولادی یا به‌صورت دالی بتن‌ریزی‌شده است. برش در این دیافراگم‌ها توسط بتن با آرماتور فولادی تامین می‌شود (عرشه فولادی مرکب ممکن است به‌عنوان تقویتی عمل کند). مانند دیافراگم عرشه فولادی، نیروهای مهاری و جمع‌کننده ممکن است توسط اعضای قاب فولادی مقاومت شوند. به‌طور متناوب، ممکن است آرماتور در دال برای مقاومت در برابر نیروهای مهاری و جمع‌کننده فراهم شود. چنین رویکرد طراحی مشابه طراحی دیافراگم‌های بتنی است و باید به بخش مربوطه برای بحث در مورد تنش فشاری، محصورسازی، عرض مؤثر و خروج از مرکز مراجعه شود.
انتقال برش از دال به مهار و جمع‌کننده (و تیر قاب خمشی یا قاب مهاربندی‌شده) توسط برش‌گیرهای مرکب انجام می‌شود. (همان‌طور که در مثال ملاحظه می‌فرمایید، ضریب مقاومت ۰٫۶۵ برای این کاربرد توصیه می‌شود).
معمولاً این نوع دال به‌عنوان صلب ایده‌آل‌سازی می‌شود و یک تحلیل سه‌بعدی ساختمان با خروج از مرکز تصادفی توزیع نیروها بین قاب‌ها و همچنین نیروهای انتقال را نشان می‌دهد. ترکیب نیروهای دیافراگم و نیروهای انتقال می‌تواند از طریق بررسی تحلیل‌های جداگانه ساختمان برای هر نیروی دیافراگم و برای نیروی جانبی معادل (یا تحلیل طیف پاسخ مودال) حاصل شود. به‌طور متناوب، اثرات ترکیبی نیروهای انتقالی و نیروهای دیافراگم ممکن است از تحلیلی واحد پس‌پردازش شوند (Sabelli و همکاران، ۲۰۰۹).
توزیع برش در طول عمق دیافراگم ممکن است به‌صورت یکنواخت فرض شود، یا ممکن است فرض گردد که تنها عمق دیافراگم لازم برای تأمین مقاومت کافی، فعال است. هر فرضی یک ایده‌آل‌سازی است و نیاز به سطحی از شکل‌پذیری در دیافراگم یا خط جمع‌کننده دارد.

خرپای افقی

سومین نوع دیافراگم، خرپای افقی است. این نوع دیافراگم گاهی در سازه‌های غیرساختمانی و ساختمان‌های صنعتی به کار می‌رود و به‌ندرت در دیگر انواع ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، ممکن است در مناطقی که نیروهای دیافراگمی به‌طور غیرمعمول زیاد هستند یا در فضاهای باز مانند آتریوم‌های بزرگ استفاده شود.
در این نوع، عرشه برای تأمین مقاومت برشی در نظر گرفته نمی‌شود بلکه، تیرها به‌صورت جانبی بین نقاط پنل (panel points) یک خرپای افقی (یا سیستم خرپاهای افقی) که بین قاب‌ها یا دیوارها قرار دارند، امتداد می‌یابند. اعضای خرپا و اتصالات آن‌ها معمولاً برای محدود کردن تقاضاهای شکل‌پذیری با استفاده از نیروهای سطح اضافه مقاومت طراحی می‌گردند. به‌طور متناوب، ممکن است این سیستم به‌صورت مشابه با قاب‌های مهاربندی‌شده متمرکز ویژه، با اعضای قطری و اتصالات آن‌ها که تحت الزامات مربوط به مهاربندها قرار دارند، طراحی و جزئیات‌پردازی شود.

www.ketab.ir

مسائل مربوط به دیافراگم‌های بتنی

اکثر دیافراگم‌های بتنی می‌توانند به‌عنوان صلب یا نیمه‌صلب طبقه‌بندی شوند. برای فرض دیافراگم صلب، هیچ نامنظمی افقی مجاز نیست و نسبت طول به عمق باید کمتر از ۳ باشد. برای دیافراگم نیمه‌صلب، مدل‌سازی صریح سختی دیافراگم در تحلیل سازه با استفاده از ضریب سختی مناسب لازم است (ACI ۱۰،۱۰،۴،۱ توصیه‌هایی برای مدل‌سازی خواص بخش ترک‌خورده ارائه می‌دهد).

همان‌طور که در توضیحات الحاقیه ACI بحث شده است، برای اکثر ساختمان‌های بتنی می‌توان انتظار رفتار غیرالاستیک به دلیل تقاضاهای لرزه‌ای داشت. مطلوب است که رفتار غیرالاستیک دیافراگم‌های کف و بام محدود شود و همچنین هرگونه کنش غیرالاستیک تنها در مکان‌های تعیین‌شده سیستم مقاوم در برابر بار جانبی عمودی (LLRS) که به‌طور خاص برای رفتار شکل‌پذیر طراحی شده‌اند، رخ دهد. با این حال، در صورتی که احتمال رسیدن دیافراگم‌ها به مقاومت خمشی یا برشی خود قبل از تسلیم شدن در LLRS باشد، دیافراگم باید برای تأمین مقاومت لازم طراحی شود.

حداقل ضخامت دیافراگم طبق آیین‌نامه ۲ اینچ (حدود ۵ سانتی‌متر) (دال‌های بتنی و دال‌های ترکیبی که به‌عنوان دیافراگم سازه‌ای عمل می‌کنند) تعیین شده است. حداقل آرماتور، آرماتوری است که برای دما و جمع‌شدگی تأمین می‌شود.

آیین‌نامه اکنون اجازه می‌دهد که دیافراگم‌ها با استفاده از مقررات آیین‌نامه برای طراحی خمشی (بخش ۱۰،۳ و ACI ۱۰،۳) طراحی شوند و توزیع غیرخطی کرنش که برای تیرهای عمیق اعمال می‌گردد، نادیده گرفته شود. این بدان معنی است که تمام آرماتور مهاری نیاز نیست که در لبه‌های مخالف دیافراگم قرار گیرند و آرماتور طولی می‌تواند به مقاومت خمشی دیافراگم کمک کند. این امر میزان آرماتور طولی مورد نیاز در وتر را کاهش می‌دهد، اما نباید منجر به حذف تمام آرماتورهای مرزی شود، همان‌طور که در توضیحات ACI ذکر شده است.

برای ساختمان‌هایی با نامنظمی‌های افقی نوع ۱a، ۱b، ۲ و ۳ یا ۴ و نامنظمی عمودی نوع ۴، نیروهای طراحی دیافراگم برای اتصال دیافراگم به سیستم مقاوم در برابر بار جانبی عمودی باید ۲۵٪ افزایش یابد.

www.ketab.ir