

سازه‌های بنّایی، طراحی سازه‌ای

نویسنده:

مهندس لیلا نجفی

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول

انتشارات دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول

۱۳۹۵

فهرست

پیش‌گفتار ۱۳

فصل اول: مقدمه

۱-۱- سازه‌های بتایی	۱۵
۱-۱-۱- سازه‌های بتایی غیر مسلح	۱۵
۱-۱-۲- سازه‌های بتایی مسلح	۱۶
۱-۲- سازه بتایی مسلح دورگیری شده	۱۶
۱-۳- سازه بتایی با ملات مسلح	۱۷
۱-۳-۱- سازه بتایی مسلح به بلوک های توخالی	۱۸
۱-۳-۱-۱- سازه‌های بتایی کف‌دار	۱۹
۲-۱- طراحی سازه‌های	۲۱
۲-۱-۱- روش‌های طراحی	۲۱
۳-۱- مقررات طراحی، نظارت و اجرا	۲۲
آیین‌نامهٔ IBC	۲۳

فصل دوم: سازه‌های بتایی

۱-۲- بارهای وارده بر سازه‌های بتایی	۲۵
۲-۲- رفتار سازه‌های بتایی در برابر بارهای قائم	۲۷
۳-۲- رفتار سازه‌های بتایی در برابر بارهای جانبی	۲۸
۱-۳-۲- بار ناشی از اثر باد	۲۸
۲-۳-۲- بار ناشی از اثر زلزله	۳۱
سختی درون صفحه‌ای	۳۳
سختی برون صفحه‌ای	۳۵
دیوار برشی بدون بازشو (SW1)	۳۷
دیوار برشی دارای بازشو (پنجره‌دار) (SW2)	۳۸
دیوار عرضی دارای یک بازشو (در) (TW1)	۳۹
دیوار عرضی دارای دو بازشو (پنجره) (TW2)	۳۹

فصل سوم: مصالح بتایی

۱-۳- واحدهای بتایی	۴۱
۱-۳-۱- آجر	۴۳
۲-۳-۱-۳- بلوک‌های سفالی	۴۳
۳-۳-۱-۳- بلوک‌های بتنی	۴۴
بلوک‌های دیواری	۴۵

۴۶	.....	بلوک‌های سقفی
۴۶	.....	۳-۱-۴- آجر بتنی
۴۶	.....	۳-۱-۵- آجر ماسه آهکی
۴۷	.....	۳-۱-۶- سنگ
۴۸	.....	۳-۱-۷- خشت
۴۸	.....	۳-۱-۸- اتصالات در دیوارهای بتابی
۵۱	.....	۳-۲- ملات و دوغاب
۵۱	.....	۳-۲-۱- مواد تشکیل دهنده ملات و دوغاب
۵۱	.....	سیمان:
۵۱	.....	آهک:
۵۲	.....	خاک رس:
۵۲	.....	فیر:
۵۲	.....	قطران:
۵۳	.....	سنگ‌دانه‌ها:
۵۳	.....	آب:
۵۳	.....	افزودنی‌ها:
۵۳	.....	۳-۲-۲- انواع ملات
۵۳	.....	ملات‌های سیمانی:
۵۴	.....	ملات‌های آهکی:
۵۴	.....	ملات‌های گچی:
۵۵	.....	ملات‌های گلی:
۵۵	.....	۳-۲-۳- روش انتخاب ملات
۵۵	.....	۳-۲-۴- انواع دوغاب
۵۶	.....	۳-۳- فولاد
۵۷	.....	۳-۳-۱- میل گرد
۵۸	.....	۳-۳-۲- نیم‌رخ‌های ساختمانی
۵۹	.....	۳-۳-۳- اتصال دهنده‌ها
۵۹	.....	۳-۴- بتن سیمانی
۵۹	.....	۳-۵- چوب
۵۹	.....	۳-۶- خصوصیات مصالح

فصل چهارم: طراحی سازه‌های بتابی به روش تنش مجاز

۶۴	.....	۴-۱- طراحی سازه‌های بتابی غیرمسلح
۶۴	.....	۴-۱-۱- فرضیات طراحی
۶۴	.....	۴-۱-۲- طراحی خمشی
۶۷	.....	۴-۱-۳- طراحی برشی

۶۸	۴-۱-۴- طراحی دیوارهای غیرباربر بنایی غیرمسلح به روش تنش مجاز.....
۶۹	۴-۱-۵- طراحی دیوارهای باربر بنایی غیرمسلح به روش تنش مجاز.....
۶۹	مثال ۴-۱:.....
۷۲	۴-۱-۶- طراحی دیوارهای برشی بنایی غیرمسلح به روش تنش مجاز.....
۷۶	۴-۱-۷- طراحی دیوارهای دارای بازشو به روش تنش مجاز.....
۷۷	نیروهای وارده به پایه‌های یک دیوار برشی دارای بازشو.....
۷۹	نیروهای وارده به پایه‌های یک دیوار عرضی دارای بازشو.....
۸۲	دیوار تحت بارهای درون صفحه‌ای (دیوار برشی).....
۸۸	دیوار تحت بارهای بیرون صفحه‌ای (دیوار عرضی).....
۹۱	۴-۱-۱۰- طراحی بولتهای مهاري به روش تنش مجاز.....
۹۵	بولت مهاري تحت کشش محوري.....
۹۹	بولت مهاري تحت برش.....
۱۰۱	محاسبه بار مهاري مجاز B_p
۱۰۲	محاسبه بار برشی مجاز.....
۱۰۳	۴-۲- طراحی سازه‌های بنایی مسلح.....
۱۰۳	۴-۲-۱- فرضیات طراحی.....
۱۰۴	۴-۲-۲- طراحی فشار محوري.....
۱۰۵	۴-۲-۳- طراحی خمشی.....
۱۰۵	۴-۲-۴- طراحی برشی.....
۱۰۶	۴-۲-۵- ملاحظات طراحی.....
۱۰۶	محدودیت‌های اندازه میل گرد.....
۱۰۷	جاگذاری آرماتورها.....
۱۰۷	حداقل آرماتور.....
۱۰۹	حداکثر آرماتور.....
۱۱۰	الزامات حداقل پوشش.....
۱۱۰	قلاب‌های استاندارد.....
۱۱۱	مهار.....
۱۱۲	دیوارهای دو یا چندجداره.....
۱۱۴	۴-۲-۶- طراحی تیرهای بنایی مسلح به روش تنش مجاز.....
۱۱۴	۴-۲-۶-۱- طراحی خمشی تیرهای بنایی مسلح.....
۱۱۴	تحلیل خمشی.....
۱۱۷	مدول شکست و لنگر ترک خوردگی.....
۱۱۸	اصول تحلیل خمشی برای اجزای بنایی.....
۱۲۳	طراحی خمشی تیرهای دارای مقاطع مستطیلی.....
۱۲۵	۴-۲-۶-۲- طراحی برشی تیرهای بنایی مسلح.....
۱۲۶	۴-۲-۶-۳- پیوستگی بین آرماتور و بنایی در تیرهای بنایی.....
۱۳۲	۴-۲-۷- طراحی ستون‌های بنایی مسلح به روش تنش مجاز.....
۱۳۳	۴-۲-۷-۱- طراحی فشار محوري.....

۱۳۴	طراحی خمشی..... ۲-۷-۲-۴
۱۳۵	ملاحظات طراحی..... ۳-۷-۲-۴
۱۳۵	ابعاد ستون.....
۱۳۵	آرماتورهای ستون.....
۱۳۶	طراحی ستون تحت بار محوری..... ۴-۷-۲-۴
۱۴۱	طراحی ستون تحت لنگر خمشی..... ۵-۷-۲-۴
۱۴۱	طراحی ستون تحت ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی..... ۶-۷-۲-۴
۱۴۵	طراحی دیوارهای بتایی مسلح به روش تنش مجاز..... ۸-۲-۴
۱۴۶	طراحی دیوارهای بتایی مسلح برای بارهای برون صفحه‌ای..... ۱-۸-۲-۴
۱۴۶	طراحی تبار محوری.....
۱۴۶	طراحی خمشی.....
۱۴۸	طراحی بتایی دیوارهای بتایی مسلح.....
۱۵۰	پیوستگی بین آرماتور بتایی در دیوارهای بتایی مسلح برون صفحه‌ای.....
۱۵۵	طراحی دیوارهای بتایی مسلح برای بارهای درون صفحه‌ای..... ۲-۸-۲-۴
۱۵۵	طراحی خمشی.....
۱۵۷	طراحی برشی.....
۱۵۹	پیوستگی بین آرماتور و بتایی دیوارهای بتایی مسلح درون صفحه‌ای.....
۱۶۴	تعیین موقعیت محور خنثی (تعیین موقعیت x_d).....
۱۷۰	مسائل.....

فصل پنجم: طراحی سازه‌های بتایی به روش مقاومت

۱۷۶	۱-۵- طراحی سازه‌های بتایی غیرمسلح.....
۱۷۶	۱-۱-۵- فرضیات طراحی.....
۱۷۶	۲-۱-۵- طراحی محوری و خمشی.....
۱۷۷	۳-۱-۵- طراحی برشی.....
۱۷۸	۴-۱-۵- ضرایب کاهش مقاومت.....
۱۷۸	۵-۱-۵- طراحی دیوارهای بتایی پرکننده غیرمسلح (دیوارهای بتایی غیرباربر غیرمسلح).....
۱۷۹	۶-۱-۵- طراحی دیوارهای بتایی باربر غیرمسلح به روش مقاومت.....
۱۸۳	۷-۱-۵- طراحی دیوارهای بتایی برشی غیرمسلح به روش مقاومت.....
۱۸۶	۸-۱-۵- طراحی دیوار دارای بازشو به روش مقاومت.....
۱۸۷	نیروهای وارده به پایه‌های یک دیوار برشی دارای بازشو.....
۱۸۹	نیروهای وارده به پایه‌های یک دیوار عرضی دارای بازشو.....
۱۹۳	دیوار تحت بارهای درون صفحه‌ای (دیوار برشی).....
۱۹۸	دیوار تحت بارهای برون صفحه‌ای (دیوار عرضی).....
۲۰۱	۹-۱-۵- طراحی بولتهای مهارتی به روش مقاومت.....
۲۰۵	بولتهای مهارتی تحت کشش محوری.....
۲۰۹	بولتهای مهارتی تحت برش.....
۲۱۲	محاسبه مقاومت کششی محوری اسمی.....

۲۱۳	محاسبه مقاومت برشی اسمی
۲۱۳	۵-۲- طراحی سازه‌های بتایی مسلح
۲۱۳	۵-۲-۱- فرضیات طراحی
۲۱۴	۵-۲-۲- طراحی فشار محوری
۲۱۵	۵-۲-۳- طراحی برشی
۲۱۶	۵-۲-۴- طراحی خمشی
۲۱۷	۵-۲-۵- ملاحظات طراحی
۲۱۷	محد دیت‌های اندازه میل‌گرد
۲۱۸	جاگذاری آرماتورها
۲۱۸	انتقال آرماتور
۲۲۰	حدسز آرماتور کششی خمشی
۲۲۳	قلاب‌های اس دارد
۲۲۴	مهار
۲۲۵	الزامات حداقل پوشش
۲۲۶	وصله آرماتورها
۲۲۶	دیوارهای دو یا چندجداره
۲۲۷	الزامات متفرقه
۲۲۷	۵-۲-۶- طراحی تیرهای بتایی مسلح به روش مقاومت
۲۲۸	۵-۲-۱- طراحی خمشی تیرهای بتایی مسلح
۲۲۹	مقاومت اسمی و درصد آرماتور
۲۳۰	شرایط تسلیم آرماتورهای کششی بر مبنای سازگاری کرنشی
۲۳۳	لنگر ترک‌خوردگی اسمی تیرهای بتایی
۲۳۴	تعیین درصد آرماتور متعادل، ρ_r
۲۳۴	حداقل آرماتور کششی در تیرهای بتایی مسلح
۲۳۵	الزامات حداکثر آرماتور در تیرهای بتایی مسلح
۲۳۵	روند طراحی خمشی تیرهای بتایی
۲۳۹	۵-۲-۶- طراحی برشی تیرهای بتایی مسلح
۲۴۷	۵-۲-۷- طراحی ستون‌های بتایی مسلح به روش مقاومت
۲۴۸	۵-۲-۱- طراحی فشارمحوری و خمشی
۲۴۹	۵-۲-۷- طراحی برشی
۲۵۰	۵-۲-۳- ملاحظات طراحی
۲۵۰	ابعاد ستون
۲۵۰	آرماتورهای ستون
۲۵۲	۵-۲-۴- طراحی ستون تحت بار محوری
۲۵۶	۵-۲-۷- طراحی ستون تحت ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی
۲۶۵	۵-۲-۸- طراحی دیوارهای بتایی مسلح به روش مقاومت
۲۶۵	۵-۲-۱- طراحی دیوارهای بتایی مسلح برای بارهای برون‌صفحه‌ای
۲۶۶	طراحی فشار محوری

۲۶۶	طراحی خمشی.....
۲۶۸	طراحی برشی.....
۲۷۶	۵-۲-۸-۲- طراحی دیوارهای بنایی مسلح برای بارهای درون صفحه‌ای.....
۲۷۶	طراحی خمشی.....
۲۷۸	طراحی برشی.....
۲۸۰	سعی و خطای اول:.....
۲۸۱	سعی و خطای دوم:.....
۲۸۲	سعی و خطای سوم:.....
۲۸۴	سعی و خطای چهارم:.....
۲۸۹	مسائل.....

فصل ششم: طراحی سازه‌های بنایی به روش تجربی

۲۹۵	۶-۱- محدوده کاربرد روش طراحی تجربی.....
۲۹۸	۶-۳- ضوابط طراحی.....
۲۹۸	۶-۲-۱- حداقل ضخامت دیوار.....
۲۹۸	۶-۲-۲- تکیه‌گاه جانبی.....
۳۰۲	۶-۲-۳- تنش‌های فشاری مجاز.....
۳۰۳	۶-۲-۴- دیوارهای برشی.....
۳۰۸	۶-۲-۵- مهار.....
۳۰۸	مهار دیوارهای متقاطع.....
۳۱۱	۶-۲-۶- دیوارهای متصل به قاب‌بندی سازه‌ای.....
۳۱۱	۶-۲-۷- اتصال دیوارهای سنگی.....
۳۱۲	۶-۲-۸- فونداسیون‌های دیواری.....
۳۱۳	۶-۲-۹- الزامات متفرقه.....
۳۱۴	مسائل.....
۳۲۷	منابع:.....

پیش‌گفتار

ایران از جمله مناطق زلزله‌خیز جهان است. در دهه‌های اخیر زلزله‌های قدرتمندی ایران را مورد تهاجم قرار داده است که حاصل آن کشته و زخمی شدن تعداد زیادی از هموطنان و همچنین خسارات سازه‌ای و مالی فراوان بوده است. در این میان، سازه‌های بتّایی بیشترین خسارت را متحمل شده‌اند و چون سازه‌های بتّایی از قدیم‌ترین ساختمان‌های موجود در کشور هستند و ساخت آن‌ها همچنان در سطح قابل توجهی ادامه دارد، خسارت وارده به آن‌ها هم از اهمیت بالایی برخوردار است. این ساختمان‌ها در برابر بارهای ثقلی بسیار پایدار است، ولی به علت وزن بسیار بالا و مصالح ترد و شکننده مورد استفاده در آن‌ها، در برابر بارهای جانبی که بیشتر به عنوان بار زلزله و باد شناخته می‌شوند، بسیار ضعیف هستند. از این رو، تاکنون تلاش‌های فراوانی برای بهبود رفتار سازه‌های بتّایی در برابر بار زلزله صورت گرفته است که شامل تغییر ضوابط آیین‌نامه‌ای و انتشار نشریه‌های فنی برای مقاوم‌سازی این نوع سازه‌ها است. نتیجه این تلاش‌ها، بهبود رفتار سازه‌های بتّایی در مقابله با زلزله بوده است. اما با توجه به این که این نوع سازه‌ها می‌توانند عملکرد بهتر و کاربری بیشتری نسبت به حال حاضر داشته باشند، همان‌گونه که در سراسر جهان بخصوص در کشورهای پیشرفته چنین است؛ بنابراین لزوم ارتقا و

بهبود هرچه بیشتر آیین‌نامه‌ها و ضوابط فنی به خوبی احساس می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان با ارتقای ضوابط آیین‌نامه‌ای، سازه‌های بنایی مرتفع یا چندین طبقه ساخت. تحقق این امر مستلزم آن است که در طراحی سازه‌های بنایی علاوه بر ضوابط ساده شکلی و فرمی سازه که اکنون آیین‌نامه‌های کشور ما اجرای آن‌ها را ملزم می‌کند، مانند سازه‌های فولادی و بتنی از روش‌های طراحی آیین‌نامه‌ای نیز استفاده شود. بدین ترتیب با تغییر نگرش نسبت به سازه‌های بنایی، این سازه‌ها را می‌توان به جایگاهی بهتر و بالاتر نسبت به حال حاضر ارتقا داد و در بسیاری از موارد از سازه‌های بنایی برای ساختن ساختمان‌های بلند و چندین طبقه مقاوم در برابر زلزله استفاده کرد که به بدین باعث اقتصادی شدن طرح می‌گردد.

در کتاب حاضر سعی بر این است که با معرفی کردن روش‌های طراحی آیین‌نامه‌ای برای سازه‌های بنایی بتوان از این نوع سازه‌ها در ساختن بناهای مهم‌تر و بلندتر استفاده کرد. امید است که این کتاب به بدین باعث معرفی و کاربردی شدن این روش‌های طراحی در سازه‌های بنایی برای دانشجویان و مهندسان عمران در کشور گردد و مقدمه‌ای باشد بر اصلاح و بهبود آیین‌نامه‌های سازه‌های بنایی. در کشور عزیزمان تا نه تنها دیگر شاهد آسیب یا تخریب این سازه‌ها در زمان وقوع زلزله و ساروج جام و مالی نباشیم بلکه شاهد استفاده از آن‌ها در سازه‌ها و ساختمان‌های مهم و بلند باشیم.

در پایان لازم است از زحمات و تلاش‌های بی‌شائبه سرکار خانم دکتر صفورا کریمی که با راهنمایی‌های گران‌قدرشان زمینه نوشتن این کتاب را فراهم آوردند، نهایت سپاس‌گزاری را داشته باشم. همچنین از شورای محترم انتشارات دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول که چاپ این کتاب را تصویب کرده‌اند و همچنین از ویراستار محترم، کتاب جناب آقای دکتر محمدرضا تابش‌پور کمال تشکر و امتنان را دارم. امید است که این کتاب راهنمای دانشجویان و مهندسان عمران گردد و آن‌ها نیز با ارائه نظرها و انتقادهای خویش باعث بهبود این کتاب در ویرایش‌های بعدی گردند.

لیلا نجفی

دزفول - پاییز ۱۳۹۴