

پیش‌گفتار ناشر:

در سال‌های اخیر کتاب‌های مختلفی در زمینه کاربرد نرم‌افزارهای مهندسی عمران به رشته تحریر در آمده است. بیشتر این کتابها درباره قابلیت‌های نرم‌افزارهای شرکت CSI هستند. آنچه بیش از همه موارد در زمینه کار با این نرم‌افزارها مهم می‌نماید، کاربرد عملی آن‌ها در تحلیل و طراحی سازه‌های فولادی و بتنی است. در کتاب‌های اخیر، بیشتر به ذکر قابلیت‌های نرم‌افزارها بسنده شده و تفسیر مناسبی نیز برای پاسخ‌های بدست آمده صورت نگرفته است. این مسئله باعث می‌شود درک صحیحی از خروجی‌های نرم‌افزارها بدست نیامده و ارتباط بین مسائل عملی، نرم‌افزار و آیین‌نامه‌های طراحی برقرار نگردد.

کتاب حاضر ابزار مناسبی برای آن گروه از مهندسی‌هاست که قصد دارند به صورت حرفه‌ای رابطه بین مسائل عملی، نرم‌افزار و آیین‌نامه‌های طراحی را درک کنند. حل دستی مثال‌ها، طراحی دستی جزییات سازه‌ای که نرم‌افزار قادر به طراحی آن نیست از خصوصیات اصلی این کتاب است.

خوانندگان گرامی می‌توانند از طریق پست الکترونیکی [info@elme-omran.com](mailto:info@elme-omran.com) نظرها و پیشنهادهای خود را با ما در میان بگذارند.

نشر علم عمران

سال‌ها است نرم‌افزار ETABS به عنوان یک نرم‌افزار قدرتمند برای تحلیل و طراحی ساختمان‌ها در کشور ما مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از قابلیت‌های این نرم‌افزار طراحی ساختمان‌های بتنی و دیوارهای برشی است. انواع مختلف سیستم‌های بتنی در برنامه‌ی ETABS قابل مدلسازی و طراحی هستند. طراحی بر اساس آیین‌نامه‌های مختلفی در این برنامه قابل انجام است. از این بین دو آیین‌نامه‌ی ACI و CSA (آیین‌نامه‌های آمریکا و کانادا) آیین‌نامه‌هایی هستند که در طراحی سازه‌های بتنی در ایران مورد توجه هستند. برنامه‌ی ETABS دو آیین‌نامه‌ی مذکور را پشتیبانی می‌کند. ضوابط طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه و متوسط و دیوارهای برشی و تیرهای عمیق ویژه نیز در برنامه‌ی ETABS موجود هستند. متاسفانه قطع و خم میلگردها و جزئیات مربوط به ترسیم نقشه‌ها از قبیل قلاب‌ها و وصله‌ها در برنامه‌ی ETABS قابل انجام نیست و تنها مساحت میلگرد و خاموت مورد نیاز به صورت خام اعلام می‌شود.

در ویرایش سال ۱۳۸۸ مبحث نهم تغییراتی نسبت به ویرایش قبلی این آیین‌نامه انجام شده است. ضوابط جدید این مبحث مشابه آیین‌نامه‌ی CSA A23.3-04 کانادا هستند. هر دو آیین‌نامه برای طراحی از روش حالت‌های حدی استفاده می‌کنند. نحوه‌ی اعمال ضریب کاهش مقاومت نیز در دو آیین‌نامه یکسان است. تفاوت مختصر مبحث نهم و آیین‌نامه کانادا در نحوه‌ی محاسبه‌ی میلگرد برشی است. اصول طراحی در آیین‌نامه‌ی ACI مشابه مبحث نهم و آیین‌نامه کانادا است، اما نحوه‌ی اعمال ضرایب ایمنی در این آیین‌نامه با مبحث نهم و آیین‌نامه کانادا یکسان نیست. کتاب حاضر به عنوان سومین کتاب از یک مجموعه سه جلدی است. کتاب اول به شرح قابلیت‌های مدلسازی و تحلیل اشاره می‌کند. کتاب دوم روش‌های طراحی ساختمان‌های فولادی را بیان می‌کند. در کتاب حاضر که سومین جلد این مجموعه است به روش‌های طراحی ساختمان‌های بتنی پرداخته می‌شود. کتاب حاضر مانند دو جلد دیگر بر مبنای ارائه‌ی مطالب علمی و آیین‌نامه‌ای استوار است. در تمام فصل‌های کتاب شرح ضوابط آیین‌نامه‌ای به همراه کاربرد آنها در نرم‌افزار ETABS بررسی شده است.

این کتاب در دو بخش تهیه شده است. این بخش‌ها کاملاً از هم مستقل هستند. بخش اول به شرح ضوابط آیین‌نامه‌ی ACI می‌پردازد. در این بخش در فصل‌های مجزایی طراحی تیرها، ستون‌ها، دیوارهای برشی و تیرهای عمیق بر مبنای آیین‌نامه ACI 318-05 شرح داده می‌شود. علاوه بر روابط بکار رفته در نرم‌افزار ETABS به ضوابط آیین‌نامه‌ای که در برنامه‌ی ETABS کنترل نمی‌شوند نیز اشاره خواهد شد. به ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌های بتنی برای قاب‌ها و دیوارهای برشی با شکل‌پذیری مختلف نیز در این بخش به عنوان جزئی از ضوابط طراحی اشاره خواهد شد. بخش دوم کتاب به شرح ضوابط آیین‌نامه‌ی CSA A23.3-04 و مبحث نهم مقررات ملی می‌پردازد. در فصل‌های مختلفی طراحی تیرها و ستون‌های بتنی شرح داده می‌شود. مبنای روابط ذکر شده آیین‌نامه‌ی کانادا خواهد بود، اما در هر فصل به ضوابط مبحث نهم نیز اشاره می‌شود و ضوابط دو آیین‌نامه مقایسه می‌شوند. در حال حاضر برنامه‌ی ETABS ضوابط طراحی دیوارهای برشی بر اساس ویرایش سال 2004 آیین‌نامه‌ی

کانادا را ندارد. ان شاء الله در ویرایش‌های بعدی این کتاب در صورت اضافه شدن قابلیت طراحی دیوارهای برشی بر اساس ویرایش 2004 آیین‌نامه کانادا در ETABS، طراحی دیوارهای برشی بر مبنای آیین‌نامه‌ی کانادا و مبحث نهم نیز در کتاب گنجانده خواهد شد.

بدون شک تهیه این مجموعه کامل بدون همکاری مسئولین محترم نشر علم عمران میسر نبود. نویسنده در این جا لازم می‌دانم از زحمات و پی‌گیری‌های بی‌دریغ آقای مهیار لاجوردی و تلاش ایشان در ارائه‌ی با کیفیت مطالب و اشکال گرافیکی کتاب صمیمانه قدردانی و تشکر کنم. همچنین از سرکار خانم سحر شاعرزاده که حرف‌چینی دقیق کتاب را بر عهده داشتند تشکر و قدردانی می‌شود.

امید است کتاب‌های این مجموعه مورد قبول جامعه‌ی مهندسی و دانشگاهی قرار گیرند. از تمام دانشجویان و مهندسان محترم تقاضا دارم با نظرات سازنده‌ی خود نویسنده را در جهت ارائه هر چه مناسب‌تر این مجموعه یاری رسانند. خواهشمند است در صورت هر گونه پیشنهاد یا انتقاد از طریق پست الکترونیکی زیر نویسنده را در جریان قرار دهید.

بهار ۱۳۸۹

حسن باجی

baji@elme-omran.com

بخش اول: طراحی بر مبنای آیین‌نامه ACI 318-05 ..... ۳

فصل اول: اصول طراحی سازه‌های بتنی بر اساس آیین‌نامه ACI 318-05 ..... ۱۱

- ۱-۱- کلیات ..... ۱۱
- ۲-۱- ایمنی در سازه ..... ۱۲
- ۱-۲-۱- بارها ..... ۱۳
- ۲-۲-۱- مقاومت ..... ۱۴
- ۳-۲-۱- ایمنی سازه ..... ۱۴
- ۳-۱- اصول طراحی ..... ۱۶
- ۴-۱- آیین‌نامه‌های طراحی ..... ۱۷
- ۵-۱- ضوابط ایمنی آیین‌نامه‌ی ACI ..... ۱۷
- ۶-۱- فرضیات اساسی برای رفتار بتن مسلح ..... ۲۰
- ۷-۱- تنظیم آیین‌نامه ACI در ETABS ..... ۲۱

فصل دوم: طراحی تیرهای بتنی بر اساس آیین‌نامه ACI 318-05 ..... ۲۷

- ۱-۲- کلیات ..... ۲۷
- ۲-۲- طراحی میلگرد خمشی تیر ..... ۲۹
- ۱-۲-۲- محاسبه‌ی لنگر ضریب‌دار ..... ۳۰
- ۲-۲-۲- محاسبه میلگرد خمشی مورد نیاز ..... ۳۱
- ۱-۲-۲-۲- طراحی تیر مستطیلی ..... ۳۱
- ۲-۲-۲-۲- طراحی تیر T شکل ..... ۳۳
- ۱-۲-۲-۲-۲- بال تیر تحت کشش ..... ۳۴
- ۲-۲-۲-۲-۲- بال تیر تحت فشار ..... ۳۴
- ۳-۲-۲-۲- حدافل و حداکثر فولاد کششی ..... ۳۷
- ۴-۲-۲-۲- ضوابط ویژه لرزه‌ای برای میلگرد طولی ..... ۳۷
- ۳-۲- طراحی میلگرد برشی ..... ۳۹
- ۱-۳-۲- تعیین نیروی برشی و لنگر ..... ۳۹
- ۱-۱-۳-۲- قاب خمشی معمولی ..... ۳۹
- ۲-۱-۳-۲- قاب خمشی ویژه ..... ۳۹

۳-۱-۳-۲- قاب خمشی متوسط ..... ۴۲

۲-۳-۲- برآورد ظرفیت برشی بتن ..... ۴۲

۳-۳-۲- برآورد میلگرد برشی ..... ۴۳

۴-۳-۲- ضوابط ویژه لرزه‌ای برای میلگرد عرضی ..... ۴۴

۴-۲- طراحی میلگرد پیچشی ..... ۴۴

۱-۴-۲- برآورد لنگر پیچشی ضریب‌دار ..... ۴۵

۲-۴-۲- برآورد مشخصات هندسی ویژه ..... ۴۵

۳-۴-۲- برآورد ظرفیت پیچشی بحرانی ..... ۴۶

۴-۴-۲- محاسبه‌ی میلگرد پیچشی ..... ۴۶

۵-۲- ضوابط لرزه‌ای تیرها در ACI 318-05 ..... ۴۸

۶-۲- تنظیم‌ها و پارامترهای طراحی تیرها ..... ۵۱

۱-۶-۲- تنظیم‌های طراحی ..... ۵۱

۲-۶-۲- پارامترهای طراحی ..... ۵۳

فصل سوم: طراحی ستون‌های بتنی بر اساس آیین‌نامه ACI 318-05 ..... ۵۷

- ۱-۳- کلیات ..... ۵۷
- ۲-۳- ایجاد منحنی اندرکنش (سطح شکست) مقاطع ستون ..... ۶۰
- ۳-۳- محاسبه‌ی نسبت نیرو به ظرفیت ستون ..... ۶۳
- ۱-۳-۳- برآورد نیروها و لنگرهای ضریب‌دار ..... ۶۳
- ۲-۳-۳- برآورد ضرایب تشدید لنگر ..... ۶۳
- ۳-۳-۳- برآورد نسبت ظرفیت ..... ۶۶
- ۴-۳-۳- مساحت میلگرد مورد نیاز ..... ۶۷
- ۴-۳- طراحی میلگرد برشی ستون ..... ۶۸
- ۱-۴-۳- محاسبه‌ی نیروهای مقطع ..... ۶۸
- ۲-۴-۳- محاسبه‌ی ظرفیت برشی بتن ..... ۷۳
- ۵-۳- طراحی اتصال تیر به ستون ..... ۷۶
- ۶-۳- محاسبه‌ی نیروی برشی چشمه‌ی اتصال ..... ۷۶
- ۱-۶-۳- برآورد مساحت موثر گره اتصال ..... ۷۸
- ۲-۶-۳- کنترل تنش برشی چشمه‌ی اتصال ..... ۷۸

۱۲۳	۶-۴- تنظیم‌های طراحی دیوارهای برشی	۷۹	۷-۳- نسبت‌های ظرفیت خمشی تیر به ستون
۱۲۶	۷-۴- پارامترهای طراحی دیوارهای برشی	۸۱	۸-۳- ضوابط لرزه‌ای ستون‌ها مطابق آیین‌نامه‌ی ACI 318-05
۱۲۷	۱-۷-۴- روش المان لبه‌ای	۸۷	۹-۳- تنظیم‌های طراحی مربوط به ستون‌ها
۱۳۰	۲-۷-۴- روش میلگردگذاری یکنواخت	۸۹	۱۰-۳- پارامترهای طراحی مربوط به ستون
۱۳۱	۳-۷-۴- روش میلگردگذاری عمومی		
۱۳۳	۸-۴- ضوابط لرزه‌ای دیوارهای برشی در آیین‌نامه‌ی ACI	۹۳	فصل چهارم: طراحی دیوارهای برشی بر اساس آیین‌نامه ACI 318-05
۱۳۳	۱-۸-۴- ضوابط میلگردگذاری	۹۳	۱-۴- کلیات
۱۳۵	۲-۸-۴- ضوابط طراحی برشی	۹۵	۲-۴- ترکیب بارهای طراحی
۱۳۶	۳-۸-۴- ضوابط نواحی مرزی	۹۸	۳-۴- طراحی خمشی- محوری دیوارهای برشی
		۱۰۰	۱-۳-۴- روش المان لبه‌ای
۱۳۹	فصل پنجم: طراحی تیرهای عمیق بر اساس آیین‌نامه ACI 318-05	۱۰۲	۱-۱-۳-۴- حالت طراحی اول
۱۳۹	۱-۵- کلیات	۱۰۴	۲-۱-۳-۴- حالت طراحی دوم
۱۴۱	۲-۵- مقطع و مصالح تیرهای عمیق	۱۰۵	۳-۱-۳-۴- حالت طراحی سوم
۱۴۲	۱-۲-۵- ابعاد پیش‌فرض طراحی	۱۰۵	۲-۳-۴- روش مبتنی بر منحنی اندرکنش
۱۴۳	۲-۲-۵- مصالح تیر عمیق	۱۰۵	۱-۲-۳-۴- سطح اندرکنش و کنترل مقطع دیوار
۱۴۳	۳-۵- طراحی خمشی تیر عمیق	۱۰۵	۱-۱-۲-۳-۴- کلیات
۱۴۴	۱-۳-۵- کلیات	۱۰۷	۲-۱-۲-۳-۴- اصول ایجاد سطح اندرکنش
۱۴۴	۲-۳-۵- محاسبه حداکثر لنگر خمشی ضریب‌دار	۱۱۱	۳-۱-۲-۳-۴- جزئیات تحلیل سازگاری کرنش
۱۴۴	۳-۳-۵- محاسبه مساحت میلگرد خمشی مورد نیاز	۱۱۳	۲-۲-۳-۴- نسبت نیاز به ظرفیت دیوار برشی
۱۴۵	۱-۳-۳-۵- میلگرد خمشی تیر مستطیلی	۱۱۴	۳-۲-۳-۴- طراحی میلگرد دیوار برشی
۱۴۶	۱-۱-۳-۳-۵- میلگرد کششی تنها	۱۱۶	۴-۴- طراحی برشی دیوارهای برشی
۱۴۶	۲-۱-۳-۳-۵- میلگرد کششی و فشاری	۱۱۷	۱-۴-۴- کلیات
۱۴۸	۲-۳-۳-۵- میلگرد خمشی تیر T شکل	۱۱۷	۲-۴-۴- محاسبه‌ی ظرفیت برشی بتن
۱۴۹	۱-۲-۳-۳-۵- میلگرد کششی تنها	۱۱۸	۳-۴-۴- محاسبه‌ی میلگرد برشی مورد نیاز
۱۵۰	۲-۲-۳-۳-۵- میلگرد کششی و فشاری	۱۱۸	۱-۳-۴-۴- طراحی لرزه‌ای و غیرلرزه‌ای
۱۵۱	۴-۵- طراحی برشی تیر عمیق	۱۱۹	۲-۳-۴-۴- ضوابط اضافی برای طراحی لرزه‌ای (دیوار برشی ویژه)
۱۵۱	۱-۴-۵- کلیات	۱۱۹	۵-۵- نواحی مرزی دیوارهای برشی
۱۵۲	۲-۴-۵- محاسبه‌ی ظرفیت برشی بتن	۱۲۰	۱-۵-۴- کلیات
۱۵۲	۳-۴-۵- محاسبه‌ی میلگرد برشی مورد نیاز	۱۲۱	۲-۵-۴- جزئیات کنترل ناحیه‌ی مرزی

۱۹۷	۶-۶-۴- نسبت دادن مشخصات	۱۵۲	۵-۳-۱- تیرهای لرزه‌ای و غیرلرزه‌ای (ویژه و غیر ویژه)
۱۹۷	۶-۶-۴-۱- تکیه‌گاه‌ها	۱۵۴	۵-۳-۲- تیرهای عمیق لرزه‌ای (ویژه)
۱۹۸	۶-۶-۴-۲- نواحی صلب انتهایی	۱۵۴	۵-۵- پارامترهای طراحی تیرهای عمیق
۱۹۹	۶-۶-۴-۳- دیافراگم صلب	۱۵۷	۵-۶- ضوابط ویژه طراحی تیرهای عمیق در ACI 318-05
۱۹۹	۶-۶-۴-۴- نامگذاری دیوارهای برشی		
۲۰۱	۶-۶-۵- بارگذاری سازه	۱۵۹	فصل ششم: شرح خروجی‌های قاب بتنی و دیوار برشی
۲۰۱	۶-۶-۵-۱- بارگذاری سقف‌ها	۱۵۹	۱-۶- کلیات
۲۰۳	۶-۶-۵-۲- بارگذاری دیوارهای جانبی	۱۶۰	۲-۶- مشخصات معماری ساختمان
۲۰۴	۶-۶-۵-۳- بارگذاری تیرهای پله	۱۶۸	۳-۶- مشخصات سازه‌ای ساختمان
۲۰۵	۶-۶-۵-۴- بارگذاری خرپشته	۱۷۰	۴-۶- مشخصات مصالح و مقاطع
۲۰۶	۶-۶-۶- تحلیل سازه	۱۷۳	۵-۶- بارگذاری سازه
۲۰۷	۶-۶-۶-۱- کنترل ترک‌خوردگی دیوارها	۱۷۵	۶-۶- مدل‌سازی ساختمان
۲۱۲	۶-۶-۷- طراحی قاب‌های بتنی	۱۷۵	۶-۶-۱- ایجاد طبقات و محورهای معماری
۲۱۲	۶-۶-۷-۱- روند طراحی اعضای بتنی	۱۷۸	۶-۶-۲- تعریف مشخصات مدل
۲۱۴	۶-۶-۷-۲- تنظیم آیین‌نامه، ترکیب بارها و پارامترهای طراحی	۱۷۸	۶-۶-۱-۲- مصالح
۲۱۶	۶-۶-۷-۳- انجام عملیات طراحی	۱۷۹	۶-۶-۲-۲- میلگردهای مقاطع بتنی
۲۲۱	۶-۶-۷-۳-۱- طراحی تیر	۱۸۰	۶-۶-۲-۳- مقاطع تیر و ستون
۲۲۴	۶-۶-۷-۳-۲- طراحی ستون	۱۸۲	۶-۶-۲-۴- مقاطع سقف و دیوار برشی
۲۲۶	۶-۶-۷-۴- خروجی‌های گرافیکی	۱۸۴	۶-۶-۲-۵- حالت‌های بار استاتیکی
۲۳۶	۶-۶-۷-۴-۱- جزئیات طراحی تیرها	۱۸۶	۶-۶-۲-۶- ترکیب بارها
۲۳۸	۶-۶-۷-۴-۱-۱- دکمه‌ی Overwrites	۱۸۷	۶-۶-۲-۷- وزن یا جرم ساختمان
۲۳۹	۶-۶-۷-۴-۲- دکمه‌ی Summary	۱۸۸	۶-۶-۳- ترسیم اعضای سازی
۲۴۱	۶-۶-۷-۴-۳- دکمه‌ی Flex Details	۱۸۸	۶-۶-۱-۳- ایجاد خطوط مرجع
۲۴۲	۶-۶-۷-۴-۴- دکمه‌ی Shear Details	۱۸۹	۶-۶-۲-۳- ترسیم ستون‌ها
۲۴۴	۶-۶-۷-۴-۵- دکمه‌ی Envelope	۱۸۹	۶-۶-۳-۳- ترسیم تیرها
۲۴۵	۶-۶-۷-۴-۲- جزئیات طراحی ستون‌ها	۱۹۱	۶-۶-۳-۴- ترسیم سقف‌ها
۲۴۶	۶-۶-۷-۴-۱-۲- دکمه‌ی Overwrites	۱۹۲	۶-۶-۳-۵- ترسیم دیوارهای برشی
۲۴۷	۶-۶-۷-۴-۲-۲- دکمه‌ی Interaction	۱۹۳	۶-۶-۳-۶- اصلاح هندسه‌ی مدل
۲۴۸	۶-۶-۷-۴-۲-۳- دکمه‌ی Summary	۱۹۵	۶-۶-۳-۷- تقسیم‌بندی اجزای محدود دیوارهای برشی

۳۲۵	۱-۵-۳- طراحی تیرها
۳۲۶	۱-۵-۴- آیین‌نامه‌های طراحی
۳۲۷	۱-۵-۵- طراحی گره اتصال
۳۲۷	۱-۵-۶- اثرهای $P-\Delta$
۳۲۸	۱-۵-۷- طول آزاد برای کماتش

فصل دوم: طراحی تیرهای بتنی بر اساس آیین‌نامه CSA A23.3-04 ..... ۳۲۹

۳۲۹	۲-۱- کلیات
۳۲۹	۲-۲- طراحی میلگرد خمشی تیرها
۳۳۰	۲-۲-۱- محاسبه‌ی لنگر ضریب‌دار
۳۳۰	۲-۲-۲- محاسبه‌ی مساحت میلگرد
۳۳۱	۲-۲-۲-۱- طراحی خمشی مقاطع مستطیلی
۳۳۲	۲-۲-۲-۲- طراحی خمشی مقاطع T شکل
۳۳۲	۲-۲-۲-۲-۱- تیر بالدار تحت اثر لنگر خمشی منفی
۳۳۲	۲-۲-۲-۲-۲- تیر بالدار تحت اثر لنگر خمشی مثبت
۳۳۵	۲-۳- حد اقل و حداکثر میلگرد کششی
۳۳۶	۲-۴- محاسبه‌ی میلگرد خمشی در مبحث نهم
۳۳۶	۲-۵- ضوابط ویژه لرزه‌ای طراحی خمشی تیرها
۳۳۶	۲-۵-۱- ضوابط لرزه‌ای تیرها در آیین‌نامه کانادا
۳۳۸	۲-۵-۲- ضوابط لرزه‌ای تیرها در مبحث نهم
۳۴۰	۲-۳- طراحی میلگردهای برشی تیرها
۳۴۱	۲-۳-۱- محاسبه نیروی برشی و لنگر خمشی
۳۴۲	۲-۳-۲- محاسبه‌ی ظرفیت برشی بتن
۳۴۵	۲-۳-۳- محاسبه‌ی خاموت مورد نیاز
۳۴۶	۲-۳-۴- محاسبه‌ی خاموت برشی در مبحث نهم
۳۴۶	۲-۳-۴-۱- محاسبه‌ی نیروی برشی ضریب‌دار
۳۴۸	۲-۳-۴-۲- محاسبه‌ی ظرفیت برشی بتن
۳۴۹	۲-۳-۴-۳- محاسبه‌ی خاموت مورد نیاز
۳۵۰	۲-۳-۵- خاموت‌گذاری ویژه مطابق مبحث نهم

۲۵۰	۶-۷-۲-۴- دکمه‌ی Flex. Details
۲۵۱	۶-۷-۲-۵- دکمه‌ی Shear Details
۲۵۴	۶-۷-۲-۶- دکمه‌ی Envelope
۲۵۴	۶-۷-۳- جزئیات طرحی برش گره اتصال
۲۵۵	۶-۷-۳-۱- دکمه‌ی Joint Shear
۲۵۸	۶-۷-۳-۲- دکمه‌ی B/C Details
۲۶۱	۶-۷-۵- خروجی‌های متنی
۲۷۲	۶-۷-۶- خروجی‌های جدولی
۲۷۵	۶-۸- طراحی دیوارهای برشی
۲۷۶	۶-۸-۱- تنظیم ضرایب آیین‌نامه‌ای و ترکیب بارها
۲۷۷	۶-۸-۲- تنظیم پارامترهای طراحی و انجام عملیات طراحی دیوارهای برشی
۲۸۲	۶-۸-۳- خروجی گرافیکی طراحی دیوارهای برشی
۲۹۱	۶-۸-۳-۱- جزئیات طراحی دیوار برشی به روش المان لبه‌ای
۲۹۳	۶-۸-۳-۲- جزئیات طراحی دیوار برشی به روش میلگردگذاری
۲۹۵	۶-۸-۳-۳- جزئیات طراحی دیوار طراحی شده به روش عمومی
۲۹۶	۶-۸-۳-۴- جزئیات طراحی تیر عمیق
۲۹۸	۶-۸-۳-۵- خروجی متنی طراحی دیوارهای برشی
۳۱۰	۶-۸-۴- خروجی جدولی طراحی دیوارهای برشی

بخش دوم: طراحی بر مبنای آیین‌نامه CSA-A23.3-04 (مبحث نهم) ..... ۳۱۷

فصل اول: اصول طراحی سازه‌های بتنی بر اساس آیین‌نامه CSA A23.3-04 ..... ۳۱۹

۳۱۹	۱-۱- کلیات
۳۲۰	۱-۲- ترکیب بارهای طراحی
۳۲۲	۱-۳- ضرایب کاهش مقاومت
۳۲۳	۱-۴- محدودیت‌های مقاومت مصالح
۳۲۴	۱-۵- مدل‌سازی مرتبط با طراحی سازه‌های بتنی
۳۲۴	۱-۵-۱- ایستگاه‌های طراحی
۳۲۵	۱-۵-۲- مشخص کردن تیر و ستون

۳۸۳	۳-۷-۸- ضوابط حداقل خاموت	۳۵۱	۳-۳-۶- تنظیم‌های طراحی آیین‌نامه‌ی CSA A23.3-04 برای تیرها
۳۸۴	۳-۸- خاموت‌گذاری ویژه در ستون‌های مطابق مبحث نهم	۳۵۳	۳-۳-۷- پارامترهای طراحی تیرها
۳۸۵	۳-۹- تنظیم‌های طراحی ستون‌ها مطابق آیین‌نامه CSA A23.3-04	۳۵۵	فصل سوم: طراحی ستون‌های بتنی بر اساس آیین‌نامه CSA A23.3-04
۳۸۷	۳-۱۰- پارامترهای طراحی ستون‌ها	۳۵۵	۳-۱- کلیات
۳۹۱	فصل چهارم: شرح خروجی‌های سازه بتنی طراحی شده طبق CSA A23.3-04	۳۵۶	۳-۲- ایجاد سطوح اندرکنش نیروی محوری- لنگر خمشی
۳۹۱	۴-۱- کلیات	۳۵۸	۳-۳- محاسبه‌ی نسبت نیاز به ظرفیت ستون
۳۹۲	۴-۲- مشخصات سازه	۳۵۹	۳-۳-۱- محاسبه‌ی نیروهای ضریب‌دار
۳۹۲	۴-۲-۱- مشخصات معماری پروژه	۳۵۹	۳-۳-۲- محاسبه‌ی ضرایب تشدید لنگر
۳۹۹	۴-۲-۲- مشخصات سازه‌ای پروژه	۳۶۰	۳-۳-۱-۲- اثر جابجایی نسبی طبقه (Drift)
۴۰۲	۴-۲-۳- بارگذاری ساختمان	۳۶۰	۳-۳-۲- اثر پایداری منفرد ستون
۴۰۳	۴-۳- ساخت مدل در ETABS	۳۶۲	۳-۳-۳- محاسبه‌ی نسبت نیرو به ظرفیت ستون
۴۰۴	۴-۳-۱- شروع ساخت مدل	۳۶۳	۴-۳- طراحی برشی ستون‌ها
۴۰۷	۴-۳-۲- معرفی مشخصات مدل	۳۶۴	۴-۳-۱- محاسبه‌ی نیروهای مقطع
۴۰۷	۴-۳-۲-۱- مصالح	۳۶۵	۴-۳-۲- محاسبه‌ی ظرفیت برشی بتن
۴۰۸	۴-۳-۲-۲- مقاطع تیر و ستون	۳۶۸	۴-۳-۳- محاسبه‌ی خاموت مورد نیاز
۴۱۰	۴-۳-۲-۳- مقطع سقف	۳۷۰	۵-۳- طراحی گره اتصال تیر به ستون (چشمه‌ی اتصال)
۴۱۱	۴-۳-۲-۴- بارهای استاتیکی	۳۷۰	۵-۳-۱- محاسبه‌ی نیروی برشی چشمه‌ی اتصال
۴۱۲	۴-۳-۲-۵- ترکیب بارها	۳۷۲	۵-۳-۲- محاسبه‌ی مساحت موثر گره اتصال
۴۱۴	۴-۳-۲-۶- معرفی جرم ساختمان	۳۷۳	۵-۳-۳- کنترل تنش برشی چشمه‌ی اتصال
۴۱۵	۴-۳-۳- ترسیم مدل	۳۷۳	۶-۳- نسبت ظرفیت تیر به ستون
۴۱۵	۴-۳-۳-۱- ترسیم ستون‌ها	۳۷۵	۷-۳- ضوابط مبحث نهم مقررات ملی
۴۱۵	۴-۳-۳-۲- ترسیم تیرها	۳۷۵	۳-۱-۷- کلیات طراحی ستون‌ها
۴۱۷	۴-۳-۳-۳- ترسیم سقف‌ها	۳۷۵	۳-۲-۷- اثرات لاغری ستون‌ها
۴۱۹	۴-۳-۴- نسبت دادن مشخصات	۳۷۸	۳-۳-۷- محاسبه‌ی نیروی برشی طراحی
۴۱۹	۴-۳-۴-۱- تکیه‌گاه‌ها	۳۸۰	۴-۳-۷- محاسبه‌ی ظرفیت برشی بتن
۴۲۰	۴-۳-۴-۲- مقاطع اعضا	۳۸۱	۵-۳-۷- محاسبه‌ی خاموت مورد نیاز
۴۲۱	۴-۳-۴-۳- آزادسازی انتهایی	۳۸۲	۶-۳-۷- اتصالات تیر به ستون
۴۲۲	۴-۳-۴-۴- نواحی صلب انتهایی	۳۸۲	۷-۳-۷- ضابطه ستون قوی- تیر ضعیف
۴۲۳	۴-۳-۴-۵- ایستگاه‌های طراحی اعضا		



۴۲۴	جهت انتقال بار سقف‌ها	۶-۳-۴-۴
۴۲۴	دیافراگم صلب	۷-۳-۴-۴
۴۲۵	بارگذاری سازه	۵-۳-۴-۴
۴۲۵	بارگذاری سقف‌ها	۱-۳-۴-۴
۴۲۷	بارگذاری دیوارهای جانبی	۲-۳-۴-۴
۴۲۸	بارگذاری پله	۳-۳-۴-۴
۴۳۰	تحلیل سازه	۶-۳-۴-۴
۴۳۱	طراحی سازه	۴-۴-۴-۴
۴۳۲	تنظیم‌های اولیه طراحی	۱-۴-۴-۴
۴۳۴	طراحی خمشی - محوری تیرها و ستون‌ها	۲-۴-۴-۴
۴۳۴	انجام عملیات طراحی و بهینه کردن مقاطع	۱-۲-۴-۴
۴۴۱	خروجی‌های طراحی خمشی - محوری	۲-۲-۴-۴
۴۸۶	خروجی‌های طراحی برشی	۳-۲-۴-۴

۴۹۷	بخش سوم: آشنایی با نرم‌افزار سازه ۸۰	۴۹۷
۴۹۹	مقدمه	۱-۱-۴۹۹
۵۰۰	ویژگی‌های نرم‌افزار سازه ۸۰	۲-۱-۵۰۰
۵۰۱	کار با سازه ۸۰	۳-۱-۵۰۱
۵۰۲	معرفی پروژه	۱-۳-۱-۵۰۲
۵۰۳	آماده سازی فایل‌های لازم برای سازه ۸۰	۲-۳-۱-۵۰۳
۵۰۳	انتقال پروژه از محیط ETABS به محیط AutoCAD	۳-۳-۱-۵۰۳
۵۰۴	ترسیم تیرها، پلان تیرریزی و مقطع تیر	۴-۳-۱-۵۰۴
۵۱۰	قابلیت‌های کنترل ترسیم تیرها و مقاطع آنها	۵-۳-۱-۵۱۰
۵۱۱	ترسیم ستون‌ها، پلان ستون‌گذاری و مقاطع ستون‌ها	۶-۳-۱-۵۱۱
۵۱۵	ترسیم دیوارهای برشی	۷-۳-۱-۵۱۵
۵۱۵	ترسیم فونداسیون‌ها	۸-۳-۱-۵۱۵
۵۱۶	ابزار وصله و خم میلگردها	۹-۳-۱-۵۱۶
۵۱۷	فهرست میلگردهای طولی و خاموت‌ها	۱۰-۳-۱-۵۱۷
۵۲۰	اختتامیه	۴-۱-۵۲۰

## بخش اول

### طراحی بر مبنای آیین نامه ACI 318-05

در این بخش ضوابط طراحی اعضای بتنی مطابق آیین نامه ACI تشریح می شوند. طراحی تیرها، ستون‌ها، دیوارهای برشی و تیرهای عمیق به طور جداگانه در فصل‌های جداگانه‌ای تشریح می شود. روابط و معادلات طراحی آیین نامه‌ی ACI بر اساس سیستم واحد انگلیسی یا SI تنظیم شده است. اما جهت سادگی تمام روابط بر اساس سیستم MKS (متر- کیلوگرم نیرو- ثانیه) ارائه شده‌اند.

علائم زیر در فصل‌های اول، دوم و سوم در طراحی تیرها و ستون‌ها بکار رفته‌اند:

$$A_{cp} = \text{مساحت احاطه شده توسط محیط خارجی بتن، } cm^2$$

$$A_{cv} = \text{مساحت بتن بکار رفته در محاسبه‌ی تنش برشی، } cm^2$$

$$A_g = \text{مساحت ناخالص مقطع بتنی، } cm^2$$

$$A_o = \text{مساحت احاطه شده توسط جریان برش، } cm^2$$

$$A_{oh} = \text{مساحت احاطه شده توسط بیرونی‌ترین خاموت پیچشی بسته، } cm^2$$

$$A_s = \text{مساحت میلگرد کششی، } cm^2$$

$$A'_s = \text{مساحت میلگرد فشاری، } cm^2$$

$$A_l = \text{مساحت میلگرد طولی پیچشی، } cm^2$$

$$A_t / s = \text{مساحت خاموت پیچشی در واحد طول، } cm^2 / cm$$

$$A_{s,required} = \text{مساحت میلگرد کششی مورد نیاز، } cm^2$$

$$A_{st} = \text{مساحت کل میلگرد طولی در ستون، } cm^2$$

$$A_v = \text{مساحت میلگردهای برشی، } cm^2$$

$$A_v / s = \text{مساحت میلگردهای برشی در واحد طول، } cm^2 / cm$$

$$C_m = \text{ضریبی که به انحنای ستون بستگی دارد و در محاسبه‌ی ضریب تشدید لنگر بکار می‌رود.}$$

$$E_c = \text{مدول ارتجاعی بتن، } kgf / cm^2$$

$$E_s = \text{مدول ارتجاعی فولاد که برابر } 2.04 \times 10^6 \text{ } kgf / cm^2 \text{ فرض می‌شود.}$$

$$I_g = \text{لختی دورانی مقطع ناخالص بتن حول محور مرکزی مقطع با صرف‌نظر کردن از میلگردها، } cm^4$$

$$I_{se} = \text{لختی دورانی میلگردها حول محور مرکزی مقطع، } cm^4$$

$$L = \text{طول خالص مهار نشده، } cm$$

$$M_a = \text{لنگر انتهایی کوچکتر ستون، } kgf.m$$

$$M_b = \text{لنگر انتهایی بزرگتر ستون، } kgf.m$$

$$M_s = \text{لنگر ضریب‌دار انتهایی مربوط به بارهای بدون حرکت جانبی (ثقلی)، } kgf.m$$

$$M_{ns} = \text{لنگر ضریب‌دار انتهایی مربوط به بارهای با حرکت جانبی (باد و زلزله)، } kgf.m$$

$$M_u = \text{لنگر ضریب‌دار مقطع، } kgf.m$$

$$M_{u2} = \text{لنگر ضریب‌دار حول محور 2، } kgf.m$$

$$M_{u3} = \text{لنگر ضریب‌دار حول محور 3، } kgf.m$$

$$P_b = \text{ظرفیت محوری در حالت تعادل کرنش، } kgf$$

$$P_c = \text{مقاومت بحرانی کمانش ستون، } kgf$$

$$P_{max} = \text{حداکثر مقاومت محوری مجاز ستون، } kgf$$

$$P_o = \text{ظرفیت محوری در خروج از مرکزیت صفر، } kgf$$

$$P_u = \text{نیروی محوری ضریب‌دار مقطع، } kgf$$

$$V_c = \text{ظرفیت برشی بتن، } kgf$$

$$V_E = \text{نیروی برشی ناشی از بار جانبی زلزله، } kgf$$

## فصل اول

### اصول طراحی سازه‌های بتنی بر اساس آیین‌نامه ACI 318-05

#### ۱-۱- کلیات

راهنمای مهندسیین طراح در طراحی سازه‌ها ضوابطی است که در مجموعه‌ای بنام آیین‌نامه گردآوری شده‌اند. در آیین‌نامه‌ها حداقل‌های لازم برای تامین ایمنی سازه داده شده است. هر چند این ضوابط لزوماً به منظور محدود کردن مهندسیین طراح ارائه نشده‌اند. آیین‌نامه‌های متعددی برای تعیین بارهای وارد بر سازه، کیفیت مصالح، روشهای ساخت، تنش‌های مجاز و سایر نیازهای طراحی یک سازه ارائه شده‌اند. در زمینه‌ی طراحی سازه‌های بتنی معروف‌ترین آیین‌نامه‌ی طراحی که در ایالات متحده آمریکا استفاده می‌شود، آیین‌نامه‌ی ACI است. در ایران نیز مبحث نهم مقررات ملی به طراحی سازه‌های بتنی می‌پردازد. مبنای محاسباتی دو آیین‌نامه مشابه است و تفاوت اصلی در نحوه‌ی اعمال ضرایب ایمنی است. در روش آیین‌نامه ACI ضرایب ایمنی در مقاومت‌های اسمی ضرب می‌شوند، اما در مبحث نهم ضرایب ایمنی در مقاومت‌های فولاد و بتن ضرب می‌شوند.

در برنامه‌ی ETABS طراحی بر مبنای آیین‌نامه‌ی ACI امکان‌پذیر است. امکان طراحی بر مبنای مبحث نهم مقررات ملی نیز وجود دارد. در این مجموعه به تشریح اصول طراحی بر مبنای آیین‌نامه‌ی ACI خواهیم پرداخت. آیین‌نامه‌ی ایران روشی مانند آیین‌نامه‌ی کانادا دارد. در بخش بعدی این مجموعه روش بکار رفته در آیین‌نامه کانادا و مبحث نهم شرح داده می‌شود.

روش بکار رفته در آیین‌نامه‌های ACI و مبحث نهم روشی موسوم به روش حالت‌های حدی است. مطابق این روش اعضای بتنی باید بر

اساس حالت‌های حدی زیر طراحی شوند،

الف- ظرفیت باربری (ایمنی، پایداری و دوام)

ب- تغییرشکل (خیز، ارتعاش و ضربه)

پ- تشکیل ترک

حالت‌های حدی فوق باید کنترل شده و سازه تحت هیچ کدام از این حالت‌های حدی نباید دچار خرابی شود. در ادامه‌ی این بخش اصول روش حالت‌های حدی تشریح خواهند شد. روش حالت حدی کامل‌تر از روش مقاومت نهایی است. در ضمن لازم به ذکر است که روش تنش مجاز از آیین‌نامه‌ی ACI و مبحث نهم حذف شده است.

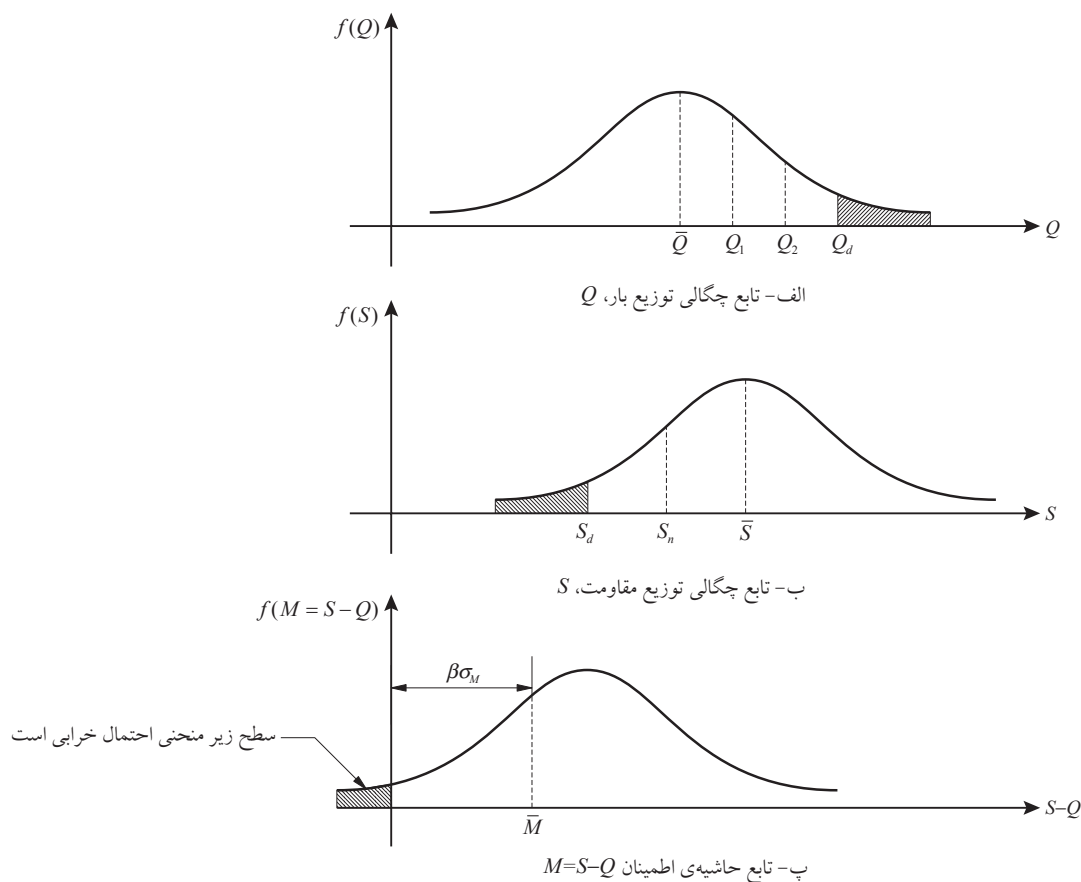
### ۱-۲- ایمنی در سازه

سازه برای اینکه بتواند وظیفه‌ی خود را انجام دهد باید در مقابل خرابی ایمن بوده و سرویس دهی خود را حفظ کند. برای سرویس دهی مناسب باید تغییرشکل‌ها به قدر کافی کوچک باشند، ترک‌ها در صورت وجود در حد قابل تحملی باشند و لرزش‌ها در صورت وجود حداقل باشند. حالت‌های حدی بهره‌برداری یا سرویس دهی دیگری نیز ممکن است برای سازه تعریف شوند. ایمنی سازه نیازمند این است که مقاومت سازه و اعضای آن برای تحمل بارهای وارد بر آن کافی باشد. اگر مقاومت سازه‌ای که بر اساس آنچه طراحی شده، ساخته شده باشد را بتوان به دقت پیش‌بینی کرد و بارها و اثرات داخلی آنها (لنگر، برش و نیروی محوری) کاملاً معلوم باشند، با تامین مقاومتی برابر با اثر بارهای وارده می‌توان ایمنی مناسب را تامین کرد. با این حال عوامل عدم قطعیت در تحلیل، طراحی و ساخت سازه‌های بتنی وجود دارد. وجود این عوامل نیاز به یک حاشیه‌ی ایمنی را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. عوامل عدم قطعیت را به صورت خلاصه می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

- ۱- بارهای واقعی ممکن است با بارهای فرض شده متفاوت باشند.
  - ۲- بارهای واقعی ممکن است به شکلی متفاوت از فرض انجام شده پخش شوند.
  - ۳- ساده‌سازی‌ها و فرضیات انجام شده در تحلیل ممکن است نیروهای داخلی متفاوت از نیروی داخلی واقعی نتیجه دهد.
  - ۴- به علت کافی نبودن آگاهی از رفتار واقعی سازه ممکن است رفتار سازه از آنچه برای آن فرض شده متفاوت باشد.
  - ۵- ابعاد واقعی اعضا ممکن است با آنچه در طراحی مشخص شده یکسان نباشند.
  - ۶- میلگردها ممکن است در موقعیت مناسب قرار نگیرند.
  - ۷- مقاومت واقعی مصالح ممکن است با مقاومت مشخص شده در طراحی یکسان نباشد.
- علاوه بر این باید هنگام پایه‌گذاری ضوابط ایمنی باید به نتایج ناشی از خرابی توجه شود. در بعضی حالتها خرابی فقط به عنوان یک پدیده‌ی نامطلوب است. در حالت‌های دیگر خسارت‌های جانی و مالی نیز به تبعات خرابی اضافه می‌شوند. از طرف دیگر طبیعت خرابی نیز باید در نظر گرفته شود. یک خرابی تدریجی با هشدار قابل توجه قبلی به یک خرابی ناگهانی یا گسیختگی غیرمنتظره ارجحیت دارد.
- واضح است که انتخاب حاشیه‌ی ایمنی مناسب کار ساده‌ای نیست. با این حال در حال حاضر پیشرفت قابل توجهی در ضوابط ایمنی رایج در آیین‌نامه‌های طراحی صورت گرفته است.

## ۱-۲-۱- بارها

حداکثر بار وارد بر سازه در طول عمر مفید آن قطعی و قابل پیش‌بینی نیست، به همین خاطر می‌توان آن را به عنوان یک متغیر تصادفی در نظر گرفت. علیرغم عدم قطعیت موجود، مهندس طراح باید سازه‌ای مناسب طراحی کند. با یک تابع چگالی احتمالاتی مانند آنچه در شکل ۱-۱ الف نشان داده شده است می‌توان حداکثر بار وارد بر سازه را مدل کرد. فرم واقعی و دقیق چنین تابعی تنها با برداشت‌های آماری با مقیاس واقعی امکان‌پذیر است. تعدادی از این عملیات‌های برداشت آماری بارها انجام شده‌اند. برای بارهایی که چنین داده‌های آماری برای آنها کمیاب هستند بر اساس تجربه، مشاهده و قضاوت مهندسی می‌توان اطلاعات قابل اعتمادی بدست آورد. با توجه به شکل ۱-۱ الف سطح زیر منحنی چگالی بار بین دو بار  $Q_1$  و  $Q_2$  نشان‌دهنده احتمال وقوع باری بین دو مقدار  $Q_1$  و  $Q_2$  است.



شکل ۱-۱- تابع فراوانی احتمال برای بار، مقاومت و حاشیه اطمینان