

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

نرم‌افزار ETABS برای تحلیل و طراحی ساختمان‌ها ارائه شده است. قابلیت‌های طراحی سازه‌های بتنی، فولادی، تیرهای مرکب و دیوارهای برشی در این نرم‌افزار وجود دارد. مدل‌سازی ساختمان‌ها در نرم‌افزار ETABS بسیار راحت انجام می‌شود. خروجی‌های این نرم‌افزار نیز مخصوص ساختمان‌ها ارائه می‌شوند. به طور کلی با توجه به اینکه نرم‌افزار ETABS ویژه تحلیل و طراحی ساختمان‌ها است مدل‌سازی، تحلیل و طراحی ساختمان‌ها با این نرم‌افزار ساده است. علاوه بر این نرم‌افزار ETABS آیین‌نامه‌های مختلفی را پشتیبانی می‌کند. ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌های فولادی و بتنی نیز در برنامه‌ی ETABS کنترل می‌شوند.

یکی از قابلیت‌های نرم‌افزار ETABS طراحی ساختمان‌های فولادی است. امکان مدل‌سازی و طراحی انواع سیستم‌های فولادی در برنامه ETABS وجود دارد. برنامه‌ی ETABS قابلیت طراحی بر مبنای آیین‌نامه‌ی AISC را در دو نسخه‌ی تنش مجاز و حالت‌های حدی دارد. ضوابط طراحی لرزه‌ای نیز به طور کامل در این نرم‌افزار قابل اعمال هستند. در برنامه‌ی ETABS تنها امکان طراحی اتصالات و صفحات ستون وجود ندارد. مدل‌سازی قاب‌های مهاربندی همگرا، واگرا و قاب‌های خمشی معمولی، متوسط و ویژه در برنامه‌ی ETABS امکان‌پذیر است.

طراحی بر اساس روش حالت‌های حدی ویرایش سال ۱۳۸۷ مبحث دهم هماهنگی کاملی با آیین‌نامه‌ی AISC 360-05 دارد. برای استفاده از روش تنش مجاز آیین‌نامه‌ی مبحث دهم نیز می‌توان از آیین‌نامه‌ی AISC-ASD89 استفاده کرد. در مبحث دهم جدید تأکید اصلی روی روش حالت‌های حدی است. بخش ۱۰-۲ مبحث دهم که مربوط به روش حالت‌های حدی است قسمت عمده‌ی این مبحث را تشکیل می‌دهد. در بخش ۱۰-۱ نیز روش تنش‌های مجاز شرح داده شده است. بخش ۱۰-۳ نیز به ضوابط طرح لرزه‌ای اختصاص دارد.

کتاب حاضر به عنوان دومین کتاب از یک مجموعه سه جلدی است. کتاب اول به شرح قابلیت‌های مدل‌سازی و تحلیل اشاره می‌کند. کتاب حاضر که جلد دوم این مجموعه است به طراحی ساختمان‌های فولادی بر اساس روش‌های تنش مجاز و مقاومت نهایی (یا حالت‌های حدی) اشاره دارد. کتاب سوم نیز مربوط به روش‌های طراحی ساختمان‌های بتنی است. این کتاب مانند دو جلد دیگر بر ارائه‌ی علمی و آیین‌نامه‌ای مطالب استوار است. سعی شده است که ابتدا تمام روش‌ها بر پایه‌ی ضوابط آیین‌نامه‌ای شرح داده شوند. پس از آن نحوه‌ی استفاده صحیح از قابلیت‌های برنامه‌ی ETABS مورد بررسی قرار می‌گیرد.

این کتاب در سه بخش مجزا تهیه شده است. بخش‌های ارائه شده کاملاً از هم مستقل هستند. بخش اول حاوی اصول طراحی سازه‌های فولادی است و به عنوان پیش‌زمینه‌ای برای بخش‌های دوم و سوم کتاب است. بخش‌های کتاب حاضر عبارتند از:

بخش اول- اصول و مبانی طراحی سازه‌های فولادی

بخش دوم- طراحی سازه‌های فولادی بر اساس روش تنش‌های مجاز

بخش سوم- طراحی سازه‌های فولادی بر اساس روش حالت‌های حدی

بخش اول اصول طراحی سازه‌های فولادی بر مبنای دو روش تنش‌های مجاز و حالت‌های حدی را ارائه می‌دهد. در بخش دوم و قسمت ۱۰-۱ مبحث دهم که حاوی ضوابط روش تنش‌های مجاز است بررسی می‌شود. در برنامه‌ی ETABS برای استفاده از روش تنش‌های مجاز مورد نظر مبحث دهم از آیین‌نامه‌ی AISC-ASD89 استفاده می‌شود. در بخش سوم نیز قسمت ۱۰-۲ مبحث دهم که مربوط به طراحی سازه‌های فولادی بر اساس روش حالت‌های حدی است مورد توجه قرار می‌گیرد. در برنامه‌ی ETABS برای استفاده از روش حالت‌های حدی مورد نظر مبحث دهم از آیین‌نامه‌ی AISC 360-05 استفاده می‌شود. در بخش‌های دوم و سوم کتاب روش طراحی بر مبنای آیین‌نامه‌ی AISC شرح داده می‌شود. علاوه بر این به ضوابط مبحث دهم نیز در کنار روابط آیین‌نامه‌ی AISC اشاره می‌شود و مقایسه‌ای بین دو آیین‌نامه خواهد داشت.

تهیه این مجموعه کامل بدون شک بدون همکاری مسئولین محترم نشر علم عمران میسر نبود. نویسنده در این جا لازم می‌داند از زحمات و پی‌گیری‌های بی‌دریغ آقای مهیار لاجوردی و تلاش ایشان در ارائه‌ی با کیفیت مطالب و اشکال گرافیکی کتاب صمیمانه قدردانی و تشکر کند. همچنین از سرکار خانم سحر شاعرزاده هم که حروفچینی 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. در صورت داشتن هر گونه پیشنهاد یا انتقاد لطفاً آن را از طریق پست الکترونیکی زیر به اطلاع نویسنده برسانید.

بهار ۱۳۸۹

حسن باجی

baji@elme-omran.com

۴۴	۲-۱- محدودیت‌های لاغری کلی
۴۴	۱-۲-۱- لاغری کلی در مبحث دهم
۴۵	۲-۲-۱- لاغری کلی در ETABS
۴۵	۱-۲-۲-۱- طول مهار نشده
۴۷	۲-۲-۲-۱- ضریب طول موثر K
۴۸	۳-۲-۱- مثال محاسبه‌ی ضریب طول موثر
۵۲	۳-۱- محدودیت لاغری موضعی
۵۲	۱-۳-۱- کماتش موضعی در مبحث دهم
۵۳	۲-۳-۱- کماتش موضعی در ETABS
۵۶	۳-۳-۱- مثال کنترل لاغری موضعی

فصل دوم: طراحی اعضای کششی و فشاری بر اساس آیین‌نامه AISC-ASD89 ۵۹

۵۹	۱-۲- کلیات
۵۹	۲-۲- اعضای کششی
۶۰	۱-۲-۲- طراحی اعضای کششی در مبحث دهم
۶۱	۲-۲-۲- طراحی اعضای کششی در ETABS
۶۱	۳-۲-۲- مثال طراحی عضو کششی
۶۴	۳-۲- اعضای فشاری
۶۴	۱-۳-۲- طراحی اعضای فشاری در مبحث دهم
۶۶	۲-۳-۲- طراحی اعضای فشاری در ETABS
۶۶	۱-۲-۳-۲- کماتش خمشی
۷۰	۲-۲-۳-۲- کماتش خمشی - پیچشی
۷۲	۳-۳-۲- مثال طراحی عضو فشاری- 1
۷۵	۴-۳-۲- مثال طراحی عضو فشاری- 2
۷۷	۵-۳-۲- مثال طراحی عضو فشاری- 3

فصل سوم: طراحی اعضای خمشی بر اساس آیین‌نامه AISC-ASD89 ۸۱

۸۱	۱-۳- کلیات
۸۱	۲-۳- طراحی اعضای خمشی در مبحث دهم
۸۲	۱-۲-۳- تنش مجاز خمشی حول محور اصلی مقاطع I شکل و ناودانی
۸۴	۲-۲-۳- تنش مجاز حول محور فرعی مقاطع I شکل و ناودانی

بخش اول: اصول و مبانی طراحی سازه‌های فولادی در ETABS ۳

فصل اول: روش‌های طراحی سازه‌های فولادی ۵

۵	۱-۱- کلیات
۵	۲-۱- آیین‌نامه‌ها
۶	۳-۱- روش‌های طراحی سازه‌های فولادی
۸	۱-۳-۱- روش تنش‌های مجاز
۹	۲-۳-۱- روش مقاومت نهایی
۱۰	۳-۳-۱- مقایسه ایمنی دو روش طراحی سازه‌های فولادی
۱۲	۴-۱- مثال طراحی به دو روش تنش مجاز و مقاومت نهایی
۱۳	۱-۴-۱- طراحی به روش مقاومت نهایی
۱۳	۲-۴-۱- طراحی به روش تنش مجاز

فصل دوم: طراحی ساختمان‌های فولادی در ETABS ۱۵

۱۵	۱-۲- کلیات
۱۵	۲-۲- عوامل موثر در طراحی اعضا
۱۶	۱-۲-۲- آیین‌نامه‌های طراحی و ترکیب بارها
۱۷	۲-۲-۲- ایستگاه‌های محل طراحی عضو
۲۱	۳-۲-۲- مقطع اعضا
۲۲	۴-۲-۲- پارامترهای طراحی
۲۳	۳-۲- روند طراحی سازه‌های فولادی

فصل سوم: آیین‌نامه AISC (مبحث دهم) در ETABS ۲۹

۲۹	۱-۳- کلیات
۲۹	۲-۳- روش حالت‌های حدی
۳۰	۳-۳- روش تنش‌های مجاز

بخش دوم: طراحی به روش تنش‌های مجاز آیین‌نامه AISC-ASD89 ۴۱

فصل اول: محدودیت‌های لاغری بر اساس آیین‌نامه AISC-ASD89 ۴۳

۴۳	۱-۱- کلیات
----	------------

بخش سوم: طراحی به روش حالت‌های حدی آیین‌نامه‌ی AISC 360-05 ..... ۱۳۵

فصل اول: روش‌های طراحی بر اساس آیین‌نامه AISC 360-05 ..... ۱۳۷

- ۱-۱- کلیات ..... ۱۳۷
- ۲-۱- اثرهای ثانویه ..... ۱۳۸
- ۱-۲-۱- اثرات  $P-\delta$  کوچک ..... ۱۴۰
- ۲-۲-۱- اثرات  $P-\Delta$  بزرگ ..... ۱۴۲
- ۳-۲-۱- اعمال اثرهای ثانویه در ETABS ..... ۱۴۵
- ۳-۱- بارهای فرضی ..... ۱۴۹
- ۴-۱- نیروهای طراحی تیر- ستون‌ها ..... ۱۵۰
- ۱-۴-۱- روش تحلیل مستقیم ..... ۱۵۰
- ۲-۴-۱- روش ضریب طول موثر ..... ۱۵۲
- ۱-۲-۴-۱- تحلیل الاستیک عمومی مرتبه‌ی دوم (بخش C2.1a) ..... ۱۵۲
- ۲-۲-۴-۱- تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل الاستیک مرتبه‌ی اول ..... ۱۵۳
- ۳-۲-۴-۱- ضوابط طراحی تیر- ستون‌ها ..... ۱۵۵
- ۵-۱- روش‌های تحلیل در برنامه‌ی ETABS ..... ۱۵۶
- ۶-۱- پارامترهای طراحی مرتبط با تحلیل مرتبه‌ی دوم ..... ۱۶۱
- ۱-۶-۱- ضرایب طول موثر  $K_1, K_2$  و  $K_{LTB}$  ..... ۱۶۳
- ۲-۶-۱- ضریب  $C_m$  ..... ۱۶۴
- ۳-۶-۱- ضرایب تشدید لنگر ..... ۱۶۵

فصل دوم: طبقه‌بندی مقاطع از نظر کماتش موضعی طبق آیین‌نامه AISC 360-05 ..... ۱۶۷

- ۱-۲- کلیات ..... ۱۶۷
- ۲-۲- ضوابط آیین‌نامه AISC برای کماتش موضعی ..... ۱۶۸

فصل سوم: طراحی اعضای کششی و فشاری بر اساس آیین‌نامه AISC 360-05 ..... ۱۷۹

- ۱-۳- کلیات ..... ۱۷۹
- ۲-۳- مقاومت اسمی کششی ..... ۱۷۹
- ۳-۳- مقاومت اسمی فشاری ..... ۱۸۱
- ۱-۳-۳- اعضای بدون اجزای لاغر ..... ۱۸۲
- ۱-۱-۳-۳- کماتش خمشی ..... ۱۸۲

۳-۲-۳- تنش مجاز خمشی مقاطع جعبه‌ای ..... ۸۵

۴-۲-۳- تنش مجاز خمشی تیر ورق‌ها ..... ۸۶

۵-۲-۳- تنش مجاز برشی ..... ۸۶

۳-۳- طراحی اعضای خمشی در ETABS ..... ۸۸

۱-۳-۳- مقاطع I شکل ..... ۸۸

۲-۳-۳- مقاطع ناودانی ..... ۹۲

۳-۳-۳- مقاطع T شکل و جفت نبشی ..... ۹۳

۴-۳-۳- مقاطع جعبه‌ای ..... ۹۳

۵-۳-۳- مقاطع لوله‌ای ..... ۹۴

۶-۳-۳- مقاطع میلگرد (دایره توپر) ..... ۹۴

۷-۳-۳- مقاطع مستطیلی و مربعی ..... ۹۴

۸-۳-۳- مقاطع نبشی تک ..... ۹۵

۹-۳-۳- مقاطع عمومی ..... ۹۷

۴-۳- طراحی اعضای برشی در ETABS ..... ۹۷

۵-۳- مثال طراحی عضو خمشی - 1 ..... ۹۹

۶-۳- مثال طراحی عضو خمشی - 2 ..... ۱۰۲

فصل چهارم: طراحی تیر ستون‌ها بر اساس آیین‌نامه AISC-ASD89 ..... ۱۰۹

۱-۴- کلیات ..... ۱۰۹

۲-۴- طراحی تیر ستون در مبحث دهم ..... ۱۰۹

۳-۴- طراحی تیر ستون در ETABS ..... ۱۱۲

۴-۴- مثال طراحی تیر ستون - 1 ..... ۱۱۴

۵-۴- مثال طراحی تیر ستون - 2 ..... ۱۱۶

فصل پنجم: کنترل خیز بر اساس آیین‌نامه AISC-ASD89 ..... ۱۱۹

۱-۵- کلیات ..... ۱۱۹

۲-۵- کنترل خیز در برنامه‌ی ETABS ..... ۱۲۰

۳-۵- محاسبه‌ی خیز تیرها در ETABS ..... ۱۲۲

۴-۵- مثال کنترل خیز تیر ..... ۱۲۶

۱-۴-۵- مدل‌سازی در ETABS ..... ۱۲۷



۲۹۶	۷-۱۳-۲- ضوابط لرزه‌ای طراحی تیر خارج از ناحیه‌ی پیوند	۲۵۰	۷-۲- طبقه‌بندی طراحی لرزه‌ای در آیین‌نامه IBC
۲۹۷	۷-۱۳-۳- ضوابط لرزه‌ای طراحی ستون دهانه مهاربندی واگرا	۲۵۳	۷-۳- پارامترهای لرزه‌ای و ترکیب بارها
۲۹۸	۷-۱۳-۴- ضوابط لرزه‌ای طراحی بادبند دهانه مهاربندی واگرا	۲۵۶	۷-۴- سیستم‌های باربر جانبی فولادی و مشخصات لرزه‌ای آنها
۲۹۹	۷-۱۳-۵- برآورد نیروی برشی اتصال تیر به ستون	۲۶۰	۷-۵- مقاومت تسلیم مورد انتظار
۲۹۹	۷-۱۳-۶- برآورد نیروی طراحی اتصال مهاربند	۲۶۳	۷-۶- تنظیم‌ها و پارامترهای طراحی مربوط به پارامترهای لرزه‌ای
<b>فصل هشتم: روند طراحی و شرح خروجی‌های طراحی ۳۰۱</b>		۲۶۳	۷-۶-۱- تنظیم بارهای لرزه‌ای
۳۰۱	۸-۱- کلیات	۲۶۵	۷-۶-۲- تنظیم‌های طراحی لرزه‌ای آیین‌نامه AISC
۳۰۲	۸-۲- مشخصات پروژه	۲۶۸	۷-۶-۳- پارامترهای طراحی مرتبط با طراحی لرزه‌ای
۳۱۰	۸-۳- بارگذاری ثقلی ساختمان	۲۶۹	۷-۷- محدودیت‌های عرض به ضخامت در طراحی لرزه‌ای
۳۱۱	۸-۴- محاسبه وزن ساختمان و بارگذاری جانبی	۲۷۳	۸- کنترل ویژه مقاومت ستون
۳۱۴	۸-۵- مصالح فولادی و مقاطع	۲۷۴	۷-۹- ضوابط لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه، SMF
۳۱۸	۸-۶- ساخت مدل در ETABS	۲۷۴	۷-۹-۱- ضوابط طراحی تیر و ستون
۳۱۹	۸-۶-۱- تنظیم طبقه‌ها و محورهای معماری	۲۷۵	۷-۹-۲- طراحی ورق‌های پیوستگی
۳۲۱	۸-۶-۲- تعریف مشخصات مدل، Define	۲۷۸	۷-۹-۳- طراحی ورق مضاعف کننده
۳۲۱	۸-۶-۱-۲- مصالح	۲۸۱	۷-۹-۴- ضابطه‌ی ستون قوی تیر ضعیف
۳۲۲	۸-۶-۱-۲-۲- مقاطع تیر، ستون و مهاربند	۲۸۳	۷-۹-۵- برآورد نیروی برشی اتصال تیر به ستون
۳۲۴	۸-۶-۱-۲-۳- مقطع سقف	۲۸۴	۷-۱۰-۱- ضوابط لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط، IMF
۳۲۵	۸-۶-۱-۲-۴- بارهای استاتیکی	۲۸۴	۷-۱۰-۱-۱- ضوابط طراحی تیرها و ستون‌ها
۳۲۷	۸-۶-۱-۲-۵- ترکیب بارها و پارامترهای لرزه‌ای	۲۸۵	۷-۱۰-۲- طراحی ورق‌های پیوستگی
۳۲۹	۸-۶-۱-۲-۶- محاسبه‌ی جرم	۲۸۵	۷-۱۰-۳- طراحی ورق‌های مضاعف کننده
۳۳۰	۸-۶-۱-۳- ترسیم سازه، Draw	۲۸۵	۷-۱۰-۴- برآورد نیروی برشی اتصال تیر به ستون
۳۳۲	۸-۶-۱-۴- نسبت دادن مشخصات به اعضا، Assign	۲۸۶	۷-۱۱- ضوابط لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی همگرای ویژه SCBF
۳۳۴	۸-۶-۱-۵- بارگذاری سازه، Assign	۲۸۷	۷-۱۱-۱- ضوابط تیرها، ستون‌ها و مهاربندها
۳۳۸	۸-۶-۱-۶- تحلیل سازه، Analyze	۲۸۸	۷-۱۱-۲- برآورد نیروی برشی طراحی اتصال تیر به ستون
۳۴۰	۷-۷- طراحی سازه	۲۸۹	۷-۱۱-۳- برآورد نیروی طراحی اتصال بادبند
۳۴۲	۸-۷-۱- نحوه‌ی طراحی اعضای فولادی	۲۸۹	۷-۱۲- ضوابط لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی همگرای معمولی، OCBF
۳۴۳	۸-۷-۲- تنظیم‌های آیین‌نامه	۲۹۰	۷-۱۲-۱- ضوابط تیرها، ستون‌ها و مهاربندها
۳۴۸	۸-۷-۳- پارامترهای طراحی اعضا	۲۹۱	۷-۱۲-۲- برآورد نیروی برشی اتصال تیر به ستون
۳۴۸	۸-۷-۳-۱- پارامترهای طراحی تیر	۲۹۱	۷-۱۲-۳- برآورد نیروی طراحی اتصال بادبند
۳۴۹	۸-۷-۳-۲- پارامترهای طراحی ستون‌ها	۲۹۱	۷-۱۳- ضوابط لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی واگرا، EBF
		۲۹۳	۷-۱۳-۱- ضوابط لرزه‌ای طراحی تیر پیوند

۳۵۱	پارامترهای طراحی مهاربندها	۳-۳-۷-۸
۳۵۲	ترکیب بارها	۴-۷-۸
۳۵۲	شروع عملیات طراحی	۵-۷-۸
۳۵۳	تیپ‌بندی اعضا	۶-۷-۸
۳۵۶	نمایش نتایج طراحی	۷-۷-۸
۳۵۶	خروجی‌های گرافیکی	۱-۷-۷-۸
۳۶۱	جزئیات ظاهر شده با کلیک راست روی اعضا	۲-۷-۷-۸
۳۶۸	خروجی‌های متنی	۳-۷-۷-۸
۳۷۰	طراحی تیر	۱-۳-۷-۷-۸
۳۷۴	طراحی ستون	۲-۳-۷-۷-۸
۳۷۵	طراحی مهاربند	۳-۳-۷-۷-۸
۳۹۴	خروجی‌های جدولی	۴-۷-۷-۸

#### بخش چهارم: آشنایی با نرم‌افزار سازه‌نگار

۳۹۷		۳۹۷
۳۹۹	مقدمه	۱-۱
۴۰۰	قابلیت‌های شاخص سازه‌نگار	۲-۱
۴۰۰	محیط گرافیکی	۱-۲-۱
۴۰۴	محیط محاسباتی	۲-۲-۱
۴۱۴	محیط نقشه‌کشی	۳-۲-۱



## بخش اول

### اصول و مبانی طراحی سازه‌های فولادی در ETABS

یکی از قابلیت‌های برنامه‌ی ETABS طراحی سازه‌های فولادی است. ضوابط عادی و لرزه‌ای در برنامه‌ی ETABS بر اساس آیین‌نامه‌های مختلفی قابل کنترل هستند. آیین‌نامه‌ای که انطباق قابل قبولی با مبحث دهم مقررات ملی دارد آیین‌نامه‌ی AISC آمریکا است. در نسخه‌ی جدید مبحث دهم که در سال ۱۳۸۷ ارائه شد، تغییرات عمده‌ای در آیین‌نامه‌ی فولاد ایران انجام شده است. مهمترین تغییر انجام شده اضافه شدن طراحی به روش حالت‌های حدی است. روش تنش‌های مجاز نیز کماکان در طراحی قابل استفاده است.

در بخش حاضر اصول و مبانی دو روش طراحی به روش تنش‌های مجاز و حالت‌های حدی شرح داده می‌شود. همچنین نحوه‌ی استفاده از برنامه‌ی ETABS برای طراحی به این دو روش شرح داده خواهد شد. در برنامه‌ی ETABS امکان استفاده از آیین‌نامه‌ی AISC آمریکا برای طراحی وجود دارد. روش حالت‌های حدی مبحث دهم انطباق مناسبی با آیین‌نامه AISC 360-05 آمریکا دارد. برای طراحی به روش تنش مجاز مبحث دهم نیز می‌توان از آیین‌نامه‌ی AISC-ASD89 استفاده کرد. لازم به ذکر است که روش تنش‌های مجاز آیین‌نامه‌ی AISC 360-05 مشابه بخش طراحی به روش تنش‌های مجاز مبحث دهم نیست. در ضمن در صورت استفاده از آیین‌نامه AISC-ASD89 امکان طراحی لرزه‌ای وجود ندارد. ضوابط طرح لرزه‌ای مبحث دهم در روش تنش‌های مجاز مشابه روش طرح لرزه‌ای روش تنش‌های مجاز آیین‌نامه AISC 360-05 است.

## فصل اول

### روش‌های طراحی سازه‌های فولادی

#### ۱-۱- کلیات

از دیرباز طراحی ساختمان‌ها مورد توجه مهندسان بوده است. در زمانهای دور طراحی سازه‌ها بر اساس تجربه انجام می‌شد. یعنی هر سازه‌ای که پس از ساخت عملکرد مناسبی از خود نشان می‌داد در ساخت سازه‌های دیگر به عنوان الگویی مناسب در نظر گرفته می‌شد. به هر صورت تجربه موفق می‌تواند یک دلیل منطقی برای تقلید از ساختار سازه‌های موجود باشد.

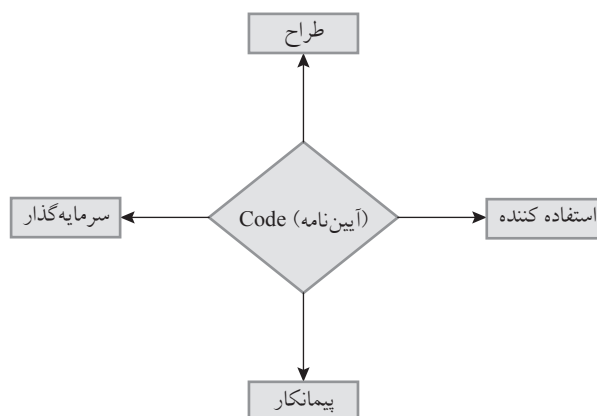
با توسعه علم مکانیک جامدات در قرن بیستم و پیدایش ایده استفاده از اسکلت برای ساخت سازه‌ها شناخت از رفتار سازه‌ها و عملکرد آنها نسبت به بارهای مختلف افزایش پیدا کرد. شناخت بارها و توسعه روش‌های تحلیل نیز تاثیر قابل توجهی در توسعه روش‌های طراحی سازه‌ها داشته است. در عملیات طراحی به دلیل عدم اطمینان به مقدار بارهای وارده و مقاومت مصالح و خطاهای موجود در تحلیل، طراحی و اجرای ساختمان لازم است از ضریب اطمینان استفاده شود. هر چه شناخت نسبت به بارها بیشتر باشد می‌توان از ضرایب اطمینان کوچکتری استفاده کرد.

در چند دهه اخیر از علم آمار و احتمال استفاده قابل توجهی در توسعه آیین‌نامه‌های طراحی شده است. کاربرد آمار و احتمال در مهندسی عمران در قالب علم قابلیت اعتماد سازه‌ها اخیراً توسعه قابل توجهی پیدا کرده است. در این فصل ابتدا کلیاتی از آیین‌نامه‌های طراحی بیان خواهد شد. پس از آن دو روش طراحی سازه‌های فولادی به تفکیک تشریح خواهند شد. در نهایت نیز در یک مثال ساده دو روش طراحی سازه‌های فولادی با هم مقایسه خواهند شد.

## ۱-۲- آیین‌نامه‌ها

آیین‌نامه‌های طراحی نقشه‌ی اساسی در روند طراحی ساختمان دارند، زیرا ضوابط مربوط به تامین حداقل سطح ایمنی قابل قبول توسط آنها برای طراح مشخص می‌شود. آیین‌نامه‌های طراحی (مبتنی بر قابلیت اعتماد سازه‌ها) در ایالات متحده برای سازه‌های فولادی (AISC)، بارگذاری ساختمان‌ها (ASCE)، طراحی پلها (AASHTO)، طراحی ساختمان‌های چوبی (ASCE) و طراحی سازه‌های دریایی (API) توسعه یافته‌اند. همچنین توسعه این آیین‌نامه‌ها در خارج از ایالات متحده در اروپا (EuroCode) و کانادا (CSA) انجام شده است. قابلیت‌های عمومی آیین‌نامه‌های موجود این است که این آیین‌نامه‌ها راهنمایی برای محاسبه و برآورد بارهای طراحی و ظرفیت تحمل بار اعضای سازه‌ای هستند. با استفاده از اعمال بارهای محافظه‌کارانه و ضرایب کاهش مقاومت، ایمنی سازه تامین می‌شود.

عملیات ساختمان‌سازی شامل ترسیم نقشه‌ها، طراحی، ساخت اعضا، انتقال، اجرا و بهره‌برداری می‌شود. عوامل اجرایی مختلفی در ساخت دخالت دارند. چهار گروه عمده مالک (کارفرما) یا سرمایه‌گذار، طراح، پیمانکار و ساکن (استفاده‌کننده) در ساخت و بهره‌برداری ساختمان سهیم هستند و معمولاً خواسته‌های آنها در مورد ساختمان متناقض هستند. کارفرما یا سرمایه‌گذار به دنبال حداکثر سود است که این به معنی کاهش هزینه‌ها است. ساکن ساختمان به دنبال راحتی و ایمنی در ساختمان است که این به معنی افزایش هزینه‌ها است. مهندس طراح مدارک و نقشه‌های لازم را که شامل نقشه‌های اجرایی و دفترچه محاسباتی هستند تهیه می‌کند. پیمانکار نیز بر اساس نقشه‌های اجرایی موجود که توسط مهندس طراح تهیه شده‌اند ساختمان را بنا می‌کند. هر دو گروه طراح و پیمانکار از طرف کارفرما یا سرمایه‌گذار تحت فشار هستند تا هزینه‌ها را کاهش دهند. وظیفه آیین‌نامه این است که ضوابط حداقل مربوط به تامین سطح قابل پذیرش قابلیت اعتماد در سازه‌ها را تامین کند. در شکل ۱-۱ نقش مرکزی آیین‌نامه‌های طراحی نمایش داده شده است.



شکل ۱-۱- نقش اساسی و مرکزی آیین‌نامه‌ها در ساخت سازه‌ها

خرابی‌های سازه‌ای معمولاً رخدادهایی نامطلوب و غیرمنتظره هستند. رخ دادن آنها به دلیل سهل‌انگاری و خطاهای اجرایی است. احتمال خرابی برای سازه‌هایی که در آنها از مصالح یا تکنولوژی جدید استفاده می‌شود یا اینکه دارای پارامترهایی فوق‌العاده هستند (مانند دهانه بزرگ، ارتفاع قابل توجه، ضخامت یا وزن زیاد) بیشتر است، زیرا در مورد این گونه سازه‌ها پیش‌بینی به علت جدید یا فوق‌العاده بودن مشخصات کمتر است. بنابراین برای تامین ایمنی سازه و به عنوان یک هدف بارها افزایش و مقاومت‌ها کاهش داده می‌شوند. با این حال ایمنی سازه نمی‌تواند کلیه عوامل خرابی سازه‌ای را پوشش دهد. آیین‌نامه‌ها تنها ضوابط حداقل ایمنی را مشخص می‌کنند و در صورت خرابی سازه‌ای ممکن است قصور طراحی باعث خرابی شده باشد.

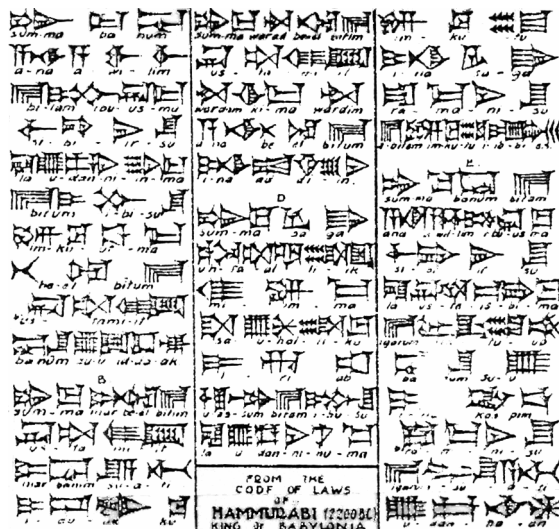
سطح ایمنی قابل پذیرش که در آیین‌نامه‌های فعلی استفاده می‌شود به میزان اهمیت دادن جامعه به زندگی انسان‌ها و عوامل دیگر بستگی دارد. میزان خرابی‌های موجود در صنعت ساختمان می‌تواند نشان دهنده اهمیت جامعه به این بخش از اقتصاد آن باشد. میزان خسارت و مرگ و میر در ساختمان را می‌توان با میزان خسارت و مرگ و میر در تصادف‌ها، حوادث هوایی و دیگر موارد مقایسه کرد. مقایسه انجام شده مشخص خواهد شد که بسته به صنعت، شرایط جغرافیایی و سطح ریسک تغییرات زیادی در سطح ایمنی قابل پذیرش وجود دارد.

معنی "سطح ایمنی قابل پذیرش" در قرون گذشته نیز مورد توجه بوده است. در گذشته‌های دور تشخیص ایمنی یک سازه پس از ساخت و بهره‌برداری موفقیت آمیز آن مشخص می‌شد و این مسوولیت سازنده بود که سازه‌ای ایمن بسازد. در شکل ۱-۲ قدیمی‌ترین آیین‌نامه ساختمان سازی (متعلق به حمورابی پادشاه بابل) نشان داده شده است. این قانون‌نامه یا آیین‌نامه مربوط به 4000 سال پیش است و کتیبه آن در موزه لوور فرانسه نگهداری می‌شود. در این کتیبه مسوولیت‌ها کاملاً و به طور وضوح مشخص شده‌اند.

در قرون وسطی سازه‌های بزرگ (برج‌ها و کلیساها) توسط استادان ماهر ساخته می‌شدند. "ایمنی هدف" با مقایسه سازه‌های موجود با سازه‌های موفق موجود تامین می‌شد. استادان با سعی و خطا موفق به ساخت سازه‌هایی ایمن می‌شدند. به عنوان مثال اگر کسی قصد داشت برجی بلندتر از برج‌های موجود بسازد ضخامت دیوارهای آن را از بلندترین برج موجود بر حسب تجربه بزرگ‌تر در نظر می‌گرفت. اگر ساختمان یا برج ساخته شده خراب می‌شد نشان دهنده این بود که ضخامت دیوارها کافی نبوده است و باید در تلاش بعدی آن را بزرگ‌تر کرد.

آیین‌نامه‌های موجود ضوابط طراحی و ترسیم نقشه‌های اجرایی لازم برای تامین حداقل سطح ایمنی قابل پذیرش را مشخص می‌کنند. آیین‌نامه‌ها ضوابط خود را به صورت فرمول‌ها، و روندها یا الگوریتم‌های خاصی ارائه کرده‌اند. در طراحی سازه‌های فولادی دو روش تنش مجاز و حالت‌های حدی در چند دهه اخیر توسط آیین‌نامه‌ها ارائه شده‌اند. آیین‌نامه‌ی طراحی AISC در آمریکا مرجع طراحی سازه‌های فولادی است. این آیین‌نامه در دو نسخه‌ی تنش مجاز و حالت‌های حدی موجود است. مبحث دهم مقررات ملی ایران نیز به طراحی سازه‌های

فولادی می‌پردازد. مانند آیین‌نامه‌ی AISC مبحث دهم نیز در دو نسخه‌ی تنش مجاز و حالت‌های حدی (مقاومت نهایی) موجود است. ضوابط طراحی مبحث دهم تا حدود زیادی برگرفته شده از ضوابط آیین‌نامه‌ی AISC هستند.



- A- اگر یک بنا ساختمانی برای یک نفر بسازد و آن ساختمان محکم نبوده و تخریب شود، اگر در اثر تخریب مالک بمیرد باید بنا هم کشته شود.
- B- اگر در اثر تخریب ساختمان پسر مالک بمیرد باید پسر بنا کشته شود.
- C- اگر در اثر تخریب ساختمان برده‌ی مالک بمیرد، باید برده‌ای هم ارزش برده‌ی کشته شده از برده‌های بنا کشته شود.
- D- اگر قسمتی از ساختمان تخریب شود باید بنا قسمت تخریب شده را تعمیر کند و چون بنا ساختمان را محکم نساخته باید ساختمان را با هزینه‌ی خود تعمیر کند.
- E- اگر بنا یک خانه برای کسی بسازد و خانه به طور مناسب ساخته نشود، آن بنا باید با هزینه‌ی خود دیوارها را تقویت کند.

#### شکل ۱-۲- قانون حمورابی در ساخت بناها

### ۱-۳- روش‌های طراحی سازه‌های فولادی

در ساختمان‌های فولادی دو روش تنش‌های مجاز و مقاومت نهایی به عنوان دو روش طراحی سازه‌های فولادی ارائه شده‌اند. در کشور آمریکا آیین‌نامه‌ی AISC در دو نسخه‌ی طراحی به روش تنش‌های مجاز (Allowable Stress Design [ASD]) و روش مقاومت نهایی که به روش

ضرایب بار و مقاومت معروف است (Load and Resistance Factored Design [LRFD]) ارائه شده است. روش تنش مجاز بر اساس معیار تسلیم و روش مقاومت نهایی بر اساس معیار پلاستیک بنا نهاده شده‌اند.

در ایران نیز طراحی سازه‌های فولادی در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان بر اساس دو روش تنش‌های مجاز و مقاومت نهایی انجام می‌شود. چهارچوب اصلی بخش تنش مجاز مبحث دهم آیین‌نامه ایالات متحده است. روش مقاومت نهایی مبحث دهم نیز مشابه روش مقاومت نهایی آخرین نسخه‌ی آیین‌نامه ایالت متحده است.

### ۱-۳-۱- روش تنش‌های مجاز

در فرمول‌بندی روش تنش‌های مجاز نیروهای داخلی اعضای سازه بر اساس بارهای سرویس بدست می‌آیند. برای تحلیل سازه نیز از روش الاستیک خطی استفاده می‌شود. سازه تحت بارهای سرویس به صورت مجزا بارگذاری و تحلیل می‌شود. نیروهای داخلی، جابجایی‌ها، عکس‌العمل‌ها و سایر نتایج تحلیل برای هر یک از بارها محاسبه می‌شوند. سپس نیروهای حاصل با هم ترکیب می‌شوند. تحت ترکیب بارها تنش‌های ناشی از نیروهای داخلی بر اساس قوانین حاکم در مکانیک جامدات بدست می‌آیند. تنش‌های حاصل به تنش‌های موجود موسوم هستند و با  $f_a$  نشان داده می‌شوند.

تنش‌های مجاز که با  $F_a$  نشان داده می‌شوند بر اساس دو معیار تسلیم و پایداری همراه با ضریب اطمینان بدست می‌آیند. تنش‌های مجاز برای رفتارهای مختلف قطعه بدست می‌آیند. تنش‌های مجاز خمشی، کششی، فشاری با ضرایب اطمینان مختلفی بدست می‌آیند. تنش‌های مجاز تابعی از تنش تسلیم  $F_y$ ، مشخصات هندسی مقطع و ضریب اطمینان هستند. در نهایت پس از تعیین تنش‌های موجود و مجاز  $f_a$  و  $F_a$ ، طراحی بر اساس رابطه زیر انجام می‌شود:

$$f_a \leq F_a$$

هر چه تنش موجود به تنش مجاز نزدیکتر باشد طراحی اقتصادی‌تر خواهد بود.

در آیین‌نامه‌ی AISC و مبحث دهم مقررات ملی بارهای وارده بر سازه و ترکیب بارها لازم برای طرح معرفی شده‌اند. بارهای وارده بر سازه مطابق بند ۱۰-۴-۱-۱ مبحث دهم عبارتند از:

- بارهای مرده، D
- بارهای زنده، L (بار زنده بام تحت عنوان  $L_r$  است)
- بار محیطی باد، W
- بار محیطی زلزله، E

- بار محیطی برف، S
- بار محیطی حرارت، T
- بار فشار یا وزن خاک یا سیال، H

بارهای فوق باید مطابق مبحث ششم مقررات ملی محاسبه شوند. ترکیب بارهای معرفی شده در بند ۱۰-۰-۴-۴ به صورت زیر هستند:

$$۱) D$$

$$۲) D + L + (L_r \text{ یا } S)$$

$$۳) D + (W \text{ یا } E)$$

$$\text{الف } D + L + (L_r \text{ یا } 0.5S) + (W \text{ یا } E)$$

$$\text{ب } D + L + (L_r \text{ یا } S) + (0.5W \text{ یا } E)$$

$$۵) D + L$$

$$۶) D + L + (L_r \text{ یا } S) + H$$

$$۷) D + T$$

$$۸) D + L + (L_r + S) + T$$

در بخش ۱۰-۰-۵ مبحث دهم بیان شده است تمام عناصر سازه شامل اعضای اصلی و فرعی، اتصالات و وسایل اتصال باید طوری طراحی شوند که تحت اثر بارهای مفروض بارگذاری تنش در آنها از تنش مجاز بیشتر نشود. در بند ۱۰-۰-۵-۲ نیز عنوان شده است که بارهای زلزله، باد و حرارت جزء بارهای فوق‌العاده هستند و در صورتی که این ترکیب بارها در طراحی استفاده شوند می‌توان تنش‌های مجاز را به میزان 33 درصد افزایش داد. در آیین‌نامه‌ی AISC نیز دقیقاً روش ساخت ترکیب بارها و طراحی بر اساس تنش‌های مجاز مشابه مبحث دهم است.

### ۱-۳-۲- روش مقاومت نهایی

در طراحی سازه‌های فولادی به روش مقاومت نهایی ابتدا نیروهای داخلی مشابه روش تنش‌های مجاز بر اساس یک تحلیل الاستیک خطی برای بارهای مختلف وارد بر سازه محاسبه می‌شوند. پس از آن هر کدام از نتایج بدست آمده برای بارهای مختلف با ضرایب ایمنی مختلفی با هم ترکیب می‌شوند. در واقع نتایج بارها پس از ضریب‌دار شدن با هم جمع می‌شوند. این ضرایب به ضرایب افزایش بار موسوم هستند. مقاومت اعضا نیز برای رفتارهای مختلف بر اساس اصول مکانیک جامدات و برای حالت پلاستیک بدست می‌آید. در روش مقاومت نهایی