به نام یکتا مهندس هستی

سری عمران

سخن مدیر تألیف

سپاس خداوند متعال را که در این سال‌ها لطف خود را از مؤسسه سری عمران دریغ نکرده و به ما انگیزه‌ای دو چندان داده است تا با **تولید کتاب‌ها و برگزاری کلاس‌های ویژه آزمون نظام مهندسی** و کارشناسی ارشد، قدمی هر چند کوچک برای موفقیت شما مهندسین عزیز بردارد.

پس از ایجاد تغییرات اساسی در آیین‌نامه‌های رسمی کشور (مقررات ملی ساختمان)، تصمیم گرفتیم که با تلاش شبانه‌روزی، فعالیت‌های مؤسسه سری عمران را در زمینه تولید کتاب و برگزاری کلاس‌های آزمون نظام مهندسی ارتقاء دهیم که خلاصه این فعالیت‌ها به شرح زیر است:

کتاب‌های ویژه آزمون نظام مهندسی

با تألیف **نسل جدید** کتاب‌های نظام مهندسی توسط اساتید برجسته و ممتاز، تلاش کرده‌ایم که مجموعه‌ای کم نقص در اختیار شما قرار گیرد. در این کتاب‌ها، ما به‌دنبال ویژگی‌های زیر بوده‌ایم:

۱- با بیانی ساده و روان، کلیه مفاهیم مورد نیاز را آموزش داده و در کنار آن درک و قضاوت مهندسی شما را افزایش دهیم.

۲- با توجه به ابهامات نسبتاً زیاد در آیین‌نامه‌های جدید، با حساسیت خاصی بندهای آیین‌نامه‌ها را شرح داده و سعی کرده‌ایم که کاربرد این بندها، با ارائه مثال‌های متنوع، کاملاً شفاف و واضح شوند.

۳- در یک فرایند سخت و دشوار، تست‌های آزمون سال‌های گذشته (از سال ۸۰ به بعد) را که بر مبنای آیین‌نامه‌های قدیم بوده است، با کمترین تغییر ممکن بر مبنای ویرایش جدید آیین‌نامه‌ها حل کرده و پاسخ تشریحی آنها را نیز با توضیحات کامل آورده‌ایم.

۴- با ارائه فهرست مطالب همراه با جزئیات کامل آن در ابتدای کتاب، عملاً به داوطلبان کمک کرده‌ایم تا در جلسه آزمون، سریعتر مطالب مورد نیاز خود را برای حل سؤالات پیدا کنند. همانطور که می‌دانید این آزمون به‌صورت کتاب باز (open book) برگزار می‌شود و با استفاده از این فهرست، می‌توانید در کوتاهترین زمان ممکن، مطلب مورد نیاز خود در کتاب را پیدا کنید.

کلاس‌های آمادگی آزمون نظام مهندسی

استقبال فراوان و بی‌نظیر مهندسین عزیز از کلاس‌های آمادگی آزمون نظام مهندسی و کارشناسی ارشد مؤسسه سری عمران در سال گذشته و همچنین نتایج درخشان قبولی شرکت‌کنندگان در این کلاس‌ها، باعث شد تا مؤسسه با بازنگری کلی، برنامه‌ریزی دقیق و هدفمندی را جهت برگزاری هر چه بهتر کلاس‌های آمادگی آزمون محاسبات و نظارت انجام دهد. شاخص‌ترین ویژگی این کلاس‌ها به شرح زیر است:

۱- تمامی مطالب مورد نیاز جهت آزمون نظام مهندسی، توسط اساتید برجسته کشور، به‌طور کامل تدریس می‌شوند و شیوه تدریس اساتید به‌گونه‌ای است که شما می‌توانید در کمترین زمان ممکن، به مطالب احاطه پیدا کنید.

۲- با آموزش نکات و مفاهیم تستی برای پاسخ‌دهی سریع به سؤالات، عملاً یک گام جلوتر از سایر داوطلبین هستید.

۳- با حل کلیه تست‌های آزمون‌های نظام‌مهندسی سالیان گذشته و همچنین حل تست‌های تألیفی مکمل، دید بسیار خوبی از نحوه طرح سؤال در آزمون پیدا می‌کنید.

قابل ذکر است که جهت کسب اطلاعات بیشتر از کلاس‌ها و کتاب‌های مؤسسه سری عمران می‌توانید به سایت **www.serieomran.com** مراجعه نمایید.

امید است که تلاش مؤسسه سری عمران مورد قبول مهندسان گرامی قرار گیرد. ارائه پیشنهادهای سازنده شما دوستان و همراهان گرامی، مجموعه را بهتر و پربارتر کرده و ما را که به دنبال کیفیت برتر هستیم یاری می‌کند.

به یادتان هستیم، به یادمان باشید

محمد آهنگر

فهرست مطالب

فصل اول: مفاهیم مقدماتی سازه‌های فولادی

قسمت اول: آشنایی با مبانی طراحی سازه‌های فولادی در حالت حدی ۸

A-۱- مقدمه ۸

A-۲- آشنایی با مبانی طراحی ۸

A-۳- اساس طراحی در حالت‌های حدی مقاومت ۹

A-۴- روش طراحی ضرایب بار و مقاومت (LRFD) ۹

A-۵- ترکیب بارهای طراحی به روش ضریب بار و مقاومت (LRFD) ۱۱

A-۶- روش طراحی مقاومت مجاز (ASD) ۱۶

A-۷- ترکیب بارهای طراحی به روش مقاومت مجاز ۱۷

قسمت دوم: (مشخصات مصالح و مقاطع فولادی) ۱۹

B-۱- مشخصات مهندسی فولاد در طراحی ۱۹

B-۲- پارامترهای هندسی مقاطع در طراحی ۲۰

B-۳- جداول کاربردی مقاطع ۲۶

فصل دوم: طراحی اعضای کششی

قسمت اول: (مفاهیم مصالح و مقاطع فولادی) ۳۴

A-۱- مفهوم سطح مقطع کلی عضو کششی ۳۴

A-۲- مفهوم سطح مقطع خالص ۳۴

A-۳- نحوهٔ محاسبهٔ نیروی مقطع در ناحیه اتصال و خارج ناحیهٔ اتصال ۴۰

A-۴- نحوهٔ محاسبهٔ تنش کششی نهایی در مقطع گسیختگی ۴۲

قسمت دوم: (طراحی اعضای کششی در خارج از ناحیه اتصال براساس روش ضریب بار و مقاومت) ۴۵

B-۱- محاسبهٔ مقاومت کششی خارج ناحیهٔ اتصال براساس روش ضریب بار و مقاومت ۴۵

B-۲- محدودیت لاغری اعضای کششی ۴۹

قسمت سوم: (طراحی اعضای کششی در ناحیه اتصال براساس روش ضریب بار و مقاومت) ۵۲

C-۱- محاسبهٔ مقاومت کششی عضو در ناحیهٔ اتصال ۵۲

C-۲- نحوهٔ محاسبهٔ پارامتر U ۵۳

قسمت چهارم: (طراحی اعضای کششی به روش مقاومت مجاز) ۶۸

D-۱- طراحی اعضای کششی به روش مقاومت مجاز (ASD) ۶۸

قسمت پنجم: (بررسی مطالب تکمیلی در بحث کشش) ۷۳

E-۱- اعضای کششی مرکب از چند نیمرخ ۷۳

E-۲- الزامات اعضای کششی با تسمهٔ لولا شده یا خار مغزی ۷۷

E-۳- الزامات اعضای کششی با تسمهٔ سرپهن ۷۹

فصل سوم: طبقه‌بندی مقاطع فولادی از نظر کمانش موضعی

قسمت اول: (مفهوم کنترل کمانش موضعی) ۸۴

A-۱- اجزاء تقویت شده و تقویت نشده در مقاطع فولادی ۸۴

A-۲- محاسبهٔ لاغری در اجزاء فشاری مقاطع فولادی ۸۴

A-۳- بررسی نسبت فشردگی مجاز در مقاطع فولادی ۸۶

قسمت دوم: (کنترل کمانش موضعی در تیرها و ستون‌های فولادی) ۸۷

B-۱- کنترل کمانش موضعی در اعضای فشاری فولادی (ستون‌ها) ۸۷

B-۲- طبقه‌بندی مقاطع فولادی از نظر کمانش موضعی برای لنگر خمشی ۹۱

قسمت سوم: (کنترل کمانش موضعی در مقاطع مختلط و کنترل فشردگی لرزه‌ای) ۹۹

C-۱- کنترل فشردگی مقاطع مختلط ۹۹

فصل چهارم: طراحی اعضای فشاری

قسمت اول: (بررسی مفاهیم مقدماتی در اعضای فشاری) ۱۰۴

A-۱- مفهوم بار بحرانی کمانشی یک عضو فشاری ۱۰۴

A-۲- محاسبهٔ ضریب طول مؤثر در ستون‌های با شرایط تکیه‌گاهی ایده‌آل ۱۰۵

A-۳- ضریب طول مؤثر در ستون‌های داخل قاب ۱۰۸

A-۴- نسبت لاغری در ستون‌ها ۱۱۷

A-۵- ضوابط نسبت لاغری در قاب‌های مهاربندی شده ۱۲۰

A-۶- بررسی انواع کمانش در ستون‌ها ۱۲۱

قسمت دوم: (اصول طراحی اعضای فشاری در روش LRFD) ۱۲۳

B-۱- بررسی رابطهٔ کنترلی اعضای فشاری در روش LRFD ۱۲۳

B-۲- محاسبهٔ مقاومت فشاری، تنها با معیار کمانش خمشی در اعضای با مقطع بدون اجزای لاغر ۱۲۶

B-۳- محاسبهٔ مقاومت فشاری با همهٔ معیارهای کمانش در اعضای با مقطع غیرلاغر ۱۴۵

قسمت سوم: (ضوابط اعضای فشاری مرکب ساخته شده از چند نیمرخ) ۱۶۲

C-۱- اعضای فشاری مرکب با اتصال سراسری ۱۶۲

C-۲- اعضای فشاری مرکب با بست موازی (افقی) ۱۶۴

C-۳- اعضای فشاری مرکب با بست‌های مورب ۱۷۰

قسمت چهارم: (طراحی اعضای فشاری دارای اجزای لاغر) ۱۷۴

D-۱- طراحی اعضای فشاری دارای اجزای لاغر ۱۷۴

D-۲- پهنای مؤثر کاهش یافتهٔ اجزای لاغر به استثنای مقاطع دایره‌ای توخالی ۱۷۴

قسمت پنجم: (طراحی اعضای فشاری به روش مقاومت مجاز) ۱۷۹

E-۱- بررسی رابطهٔ کنترلی اعضای فشاری در روش ASD ۱۷۹

فصل پنجم: طراحی اعضای خمشی

قسمت اول (بررسی مفاهیم مقدماتی در خمش).....۱۸۸

A-۱- لنگر تسلیم مقطع.....۱۸۸

A-۲- تعیین محل محور خنثای پلاستیک.....۱۸۹

A-۳- لنگر پلاستیک مقطع.....۱۹۱

A-۴- کنترل لاغری جان مقاطع I شکل با یک محور تقارن تحت اثر لنگر خمشی.....۲۰۴

قسمت دوم: (پدیده کمانش پیچشی جانبی، ضریب اصلاح کمانش پیچشی جانبی و شعاع ژیراسیون مؤثر در کمانش پیچشی جانبی).۲۰۸

B-۱- پدیده کمانش پیچشی جانبی (C_b).....۲۰۸

B-۲- ضریب اصلاح کمانش پیچشی جانبی.....۲۱۱

B-۳- شعاع ژیراسیون مؤثر در کمانش پیچشی جانبی.....۲۲۱

قسمت سوم: (محاسبه مقاومت خمشی اسمی در مقاطع مختلف).۲۲۶

C-۱- تشخیص نوع حالت‌های حدی حاکم بر طراحی عضو خمشی۲۲۶

C-۲- مقاومت خمشی اسمی مقاطع I شکل و ناودانی.....۲۳۰

C-۳- مقاومت خمشی اسمی سایر مقاطع فولادی (قوطی، لوله، سپری، نبشی، چهارگوش و...).....۲۷۵

قسمت چهارم: (بررسی ضوابط تکمیلی تناسبات ابعادی مقاطع اعضای خمشی).....۳۰۷

D-۱- اعضای با مقاطع دارای بال کششی سوراخ‌دار.....۳۰۷

D-۲- محدودیت ابعادی مقاطع I شکل تحت خمش.....۳۰۹

D-۳- ورق‌های تقویتی بال تیرها.....۳۰۹

D-۴- اتصال جان به بال اعضای ساخته شده از ورق.....۳۱۱

قسمت پنجم: (طراحی اعضای خمشی تیرها به روش مقاومت مجاز).۳۱۷

E-۱- طراحی اعضای خمشی به روش ASD.....۳۱۷

فصل ششم: برش در سازه‌های فولادی

قسمت اول: (بررسی مفاهیم مقدماتی برش).....۳۲۸

A-۱- آشنایی با مفهوم کمانش برشی جان.....۳۲۸

A-۲- بررسی مفهوم میدان کششی در تیر ورق‌ها.....۳۲۹

A-۳- مروری بر رسم نمودارهای برش تیرهای پرکاربرد و محاسبهٔ مقاومت برشی مورد نیاز.....۳۳۰

قسمت دوم: (محاسبه مقاومت برشی مقاطع و کنترل آنها براساس روش LRFD).....۳۳۴

B-۱- بررسی رابطهٔ کنترلی برش در اعضای فولادی.....۳۳۴

B-۲- مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع I شکل و ناودانی تحت اثر برش در صفحهٔ جان.....۳۳۴

B-۳- مقاومت برشی اسمی اعضای دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر برش در راستای عمود بر محور ضعیف مقطع.....۳۵۴

B-۴- مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع سپری تحت اثر برش در صفحهٔ تقارن و نبشی تک تحت اثر برش در امتداد یکی از ساق‌ها...۳۵۸

B-۵- مقاومت برشی اعضای با مقطع قوطی شکل (HSS)، جعبه‌ای و سایر مقاطع دارای یک یا دو محور تقارن.....۳۵۹

B-۶- مقاومت برشی اعضای با مقطع لوله‌ای.....۳۶۴

قسمت سوم: (محاسبه مقاومت برشی مقاطع و کنترل آنها براساس روش مقاومت مجاز).....۳۶۷

C-۱- بررسی رابطهٔ کنترلی برش در اعضای فولادی در روش ASD. ۳۶۷

فصل هفتم: الزامات حالت حدی بهره‌برداری در تیرها

قسمت اول: (کنترل تغییر شکل در تیرها).....۳۷۴

A-۱- کنترل تغییر شکل‌های قائم.....۳۷۴

قسمت دوم: (کنترل ارتعاش در تیرها و بررسی موارد تکمیلی برای کنترل بهره‌برداری).....۳۸۱

B-۱- کنترل ارتعاش در تیرهای فولادی.....۳۸۱

B-۲- موارد تکمیلی برای کنترل‌های بهره‌برداری.....۳۸۵

فصل هشتم: طراحی اعضای فولادی برای ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی و پیچش خالص

قسمت اول: (الزامات طراحی اعضا برای ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی).....۳۸۸

A-۱- طراحی مقطع متقارن تحت اثر خمش دو محوره.....۳۸۸

A-۲- اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر هم‌زمان لنگر خمشی و نیروی محوری کششی.....۳۹۰

A-۳- اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر هم‌زمان لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری.....۳۹۵

A-۴- گسیختگی بال‌های دارای سوراخ تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی.....۴۰۰

A-۵- اعضای با مقطع نورد شدهٔ فشرده دارای دو محور تقارن تحت اثر همزمان نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی زیاد حول محور قوی.....۴۰۱

A-۶- اعضای با مقطع نامتقارن و سایر اعضا تحت اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی.....۴۰۳

قسمت دوم: (الزامات طراحی اعضا برای پیچش خالص و ترکیب نیروی محوری، لنگر خمشی و پیچشی).....۴۰۴

B-۱- رابطه کنترلی اعضای فولادی برای پیچش خالص.....۴۰۴

B-۲- مقاومت پیچشی اسمی در مقاطع دایره‌ای شکل توخالی...۴۰۴

B-۳- مقاومت پیچشی اسمی در مقاطع قوطی شکل.....۴۰۶

B-۴- اعضای تحت اثر ترکیب پیچش، خمش، برش و نیروی محوری با مقطع دایره‌ای شکل توخالی، قوطی شکل (HSS) و جعبه‌ای...۴۰۹

B-۵- ترکیب تنش‌ها در سایر مقاطع (مقاطع باز).....۴۱۲

قسمت سوم: (بررسی همزمان معیارهای مختلف طراحی)....۴۱۳

C-۱- کنترل طراحی برای معیارهای مختلف در اعضاء.....۴۱۳

سخـن مؤلفین

سـازه‌های فولادی یکی از مهمترین دروس رشتهٔ مهندسی عمران است که یادگیری مفهومی و عمیق آن، برای موفقیت در آزمون نظام مهندسی لازم و ضروری می‌باشد.

پس از ایجاد تغییرات اساسی در مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان در سال جاری، کمبود یک منبع قوی که بندهای آیین‌نامه را به شکل کاربردی و مثال‌محور بررسی کند، احساس می‌شد. از این‌رو تصمیم گرفتیم تا با یک کار منسجم، کتابی در دو جلد به شما عزیزان ارائه کنیم.

ویژگی‌های این کتاب به شرح زیر است:

۱- ارائهٔ یک نگاه جدید در درس فولاد که با طبقه‌بندی دقیق آیین‌نامه همراه با درسنامه‌های مفهومی، باعث افزایش سرعت یادگیری شما می‌شود.

۲- ایجاد یک روند جدید در آموزش مطالب، با کمک پرسـیدن چند سؤال مفهومی در شروع هر بحث که درک شما را از مطالب بسیار بالا می‌برد.

۳- جمع‌آوری مثال‌های بسیار متنوع تألیفی در هر فصل که باعث افزایش چشمگیر مهارت شما در حل مسائل می‌شود.

۴- آوردن کلیهٔ سؤالات غیرتکراری آزمون‌های نظام مهندسی گذشته، همراه با تغییر آنها منطبق بر آیین‌نامهٔ جدید.

۵- ارائهٔ دیدهای مهندسی کاربردی و ارجاع مطالب به بندهای آیین‌نامه.

با مطالعهٔ این کتاب متوجه خواهید شد که سازه‌های فولادی، درسی بسیار جذاب است و با نگاه جدید ارائه شده، می‌توان سؤالات فولاد را در آزمون نظام مهندسی به خوبی حل کرد.

فهرست مهمترین مراجع مورد استفاده در نگارش این کتاب به شرح زیر است:

۱. مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان، «طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی»، ویرایش پنجم، وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۴۰۱.

۲. مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، «بارهای وارد بر ساختمان» ویرایش چهارم، وزارت راه و شهرسازی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۸.

۳. ازهری، مجتبی و میرقادری، سید رسول، طراحی سازه‌های فولادی *(LRFD-ASD)* جلدهای پنجم و ششم، انتشارات ارکان دانش، ۱۳۹۷.

۴. اصغری، اباذر، «مجموعه ۴ جلدی اصول و مبانی طراحی سـازه‌های فولادی»، انتشـارات دانشـگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۶.

۵. فنائـی، نادر و قلمزن اصفهانی، فرزانه، «طراحی انواع اتصالات سـازه‌های فولادی به روش ضرایب بار و مقاومت»، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۵.

در این کتاب تلاش بی‌وقفه‌ای در خصوص اطمینان از صحت مطالب، نحوهٔ نگارش و ترسیم اَشکال انجام شده است، اما با این وجود خوانندگان عزیز می‌توانند هرگونه پیشنهاد، تصحیحات و نظرات سازندهٔ خود را به نشانی مؤسسهٔ سری عمران و یا آدرس ایمیل *serieomran@yahoo.com* ارسال نمایند.

نادر فنائی، حسین صباغیان

اسفند ۱۴۰۱

سری عمران

فصل اول

مفاهیم مقدماتی سازه‌های فولادی

مفاهیم مقدماتی سازه‌های فولادی

- آشنایی با مبانی طراحی سازه‌های فولادی در حالت حدی
- مشخصات مصالح و مقاطع فولادی

قسمت اول (آشنایی با مبانی طراحی سازه‌های فولادی در حالت حدی)

زیر شاخه‌های قسمت اول:

A-۱- مقدمه

A-۲- آشنایی با مبانی طراحی

A-۳- اساس طراحی در حالت‌های حدی مقاومت

A-۴- روش طراحی ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

A-۵- ترکیب بارهای طراحی به روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

A-۶- روش طراحی مقاومت مجاز (ASD)

A-۷- ترکیب بارهای طراحی به روش مقاومت مجاز

A-۱- مقدمه

یکی از چالش‌های اصلی مهندسین عمران برای تحلیل و طراحی سازه‌های فولادی، استفاده صحیح از روش‌های مختلف طراحی این سازه‌ها می‌باشد که به درک مفهومی خوبی از رویکردهای مختلف در آیین‌نامه‌های طراحی نیاز دارد. بر این اساس در این فصل می‌خواهیم با به کارگیری یک طبقه‌بندی منظم، درک عمیقی را برای شما عزیزان فراهم کنیم.

A-۲- آشنایی با مبانی طراحی

هدف از مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، تعیین حداقل ضوابط و مقرراتی است که باید در تحلیل، طراحی و اجرای ساختمان‌های فولادی جهت تأمین شرایط ایمنی و امکان بهره‌برداری مناسب مورد استفاده قرار گیرد. در این مبحث مبنای طراحی سازه‌ها، بررسی و کنترل آنها در حالت‌های حدی مقاومت و بهره‌برداری با رعایت ملاحظات طراحی خاص هر سازه یا عضو سازه‌ای است. حالت‌های حدی به شرایطی اطلاق می‌گردد که اگر تمام یا بخشی از سازه به هر یک از آن حالت‌ها برسند، دیگر قادر به انجام وظایف خود نبوده و قابلیت استفاده را از دست می‌دهد.[1]

مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ۱۳۹۲ (۱-۲-۱-۱)

مطابق این مبحث پیکربندی، ابعاد و مشخصات اجزای سازه باید چنان باشد که سازه، شامل اجزاء و اتصالات آن، تحت اثر ترکیبات بارگذاری محتمل، به هیچ یک از حالت‌های حدی زیر نرسد:

الف) حالت‌های حدی مقاومت

حالت‌های حدی مقاومت، حالت‌هایی هستند که سازه شامل اعضاء، اجزاء و اتصالات آن پس از رسیدن به آن حالت‌ها، تحت اثر هر یک از ترکیب‌های بارگذاری با وقوع خرابی‌هایی نظیر تسلیم، گسیختگی، کمانش و غیره، مقاومت و شکل‌پذیری مورد نیاز خود را از دست می‌دهد.

ب) حالت‌های حدی بهره‌برداری

حالت‌های حدی

حالت‌های حدی بهره‌برداری، حالت‌هایی هستند که سازه شامل اعضاء و اتصالات آن، با وقوع آنها نظیر تغییر شکل، لرزش و .... قابلیت نگهداری، شرایط ظاهری، دوام و کارایی خود را از دست می‌دهند و دیگر قادر به انجام وظایف و تأمین آسایش بهره‌برداران نخواهند بود.

1-Limit State Design (LSD)

A-۳- اساس طراحی در حالت‌های حدی مقاومت

هدف از طراحی یک ساختمان، دستیابی به یک سیستم ایمن و اقتصادی با رعایت شرایط بهره‌برداری است، به طور مثال هدف از طراحی سازهٔ یک ساختمان این است که هندسه‌ای مناسب برای سازه به‌دست آید و مقاومت اعضای تشکیل‌دهندهٔ آن به گونه‌ای باشد که در مقابل بارهای وارده پایداری خود را حفظ کند. به طور کلی برای اینکه یک سازه ایمن و اقتصادی باشد، باید رابطهٔ کلی زیر در آن برقرار شود:

مقاومت موجود سازه ≥ مقاومت نیاز ناشی از بارهای وارد بر سازه

در ویرایش جدید مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، برای تأمین الزامات حالت‌های حدی مقاومت، استفاده از روش طراحی ضرایب بار و مقاومت (*LRFD*)[1] یا روش طراحی مقاومت مجاز (*ASD*)[2] قابل قبول بوده، لیکن در یک سازه فولادی، به کارگیری هم زمان دو روش مورد اشاره قابل قبول نیست. در این ویرایش در هر دو روش مذکور مقاومت اسمی اعضاء از یک ضابطهٔ طراحی مشترک محاسبه می‌شود، لیکن در روش ضرایب بار و مقاومت، مقاومت طراحی از حاصل ضرب مقاومت اسمی اعضاء در ضریب کاهش مقاومت (ϕ) و در روش مقاومت مجاز، مقاومت مجاز از تقسیم مقاومت اسمی اعضا بر ضریب اطمینان (Ω) محاسبه می‌شود.

A-۴- روش طراحی ضرایب بار و مقاومت (LRFD)

همان‌طور که می‌دانیم، مقاومت سازه و بارهای وارد بر آن، طبیعت آماری داشته و به یقین نمی‌توان گفت به طور مثال، مقاومت مصالحی که از کارخانه بیرون می‌آید، چقدر است و یا بار وارد بر یک ساختمان دقیقاً چقدر است. بنابراین شرط رسیدن به یک سازه ایمن و اقتصادی، برقراری رابطه زیر می‌باشد.

مقاومت اسمی سازه × ضریب کاهش مقاومت ≤ مقاومت ناشی از بارهای وارد بر سازه × ضریب افزایش بار

ملاحظه می‌شود در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (*LRFD*)، دو دسته ضرایب ایمنی به شرح زیر در تحلیل و طراحی منظور می‌گردد:

الف) ضرایب بار (γ)، که مقدار آن‌ها به میزان عدم اطمینان در برآورد مقدار بارها و ایجاد بحرانی‌ترین شرایط در ترکیبات بارگذاری بستگی دارد. مقدار این ضرایب بار باید مطابق با ترکیبات بارگذاری ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان باشد. این ضرایب اکثراً بزرگ‌تر از یک و ندرتاً برابر یک یا کوچک‌تر از یک هستند.

ب) ضرایب کاهش مقاومت (ϕ)، که مقدار آن‌ها با توجه به دقت تئوری‌های مقاومت مصالح مورد استفاده، نوع حالت حدی مقاومت، تغییرات احتمالی مشخصات مصالح و رواداری‌های ابعادی مقطع تعیین می‌گردد. مقادیر ضریب کاهش مقاومت (ϕ) در فصل‌های مختلف این مبحث برای هر عضو، اتصال یا جزء سازه‌ای ارائه شده‌اند. این ضرایب عموماً کوچک‌تر یا حداکثر مساوی یک هستند.

در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، طراحی اعضاء، اتصالات و اجزای مختلف سازه باید چنان صورت پذیرد که مقاومت مورد نیاز (R_u) آنها که از تحلیل سازه تحت اثر ترکیبات بارگذاری مربوطه به دست می‌آید، کوچکتر یا مساوی مقاومت طراحی آن‌ها (ϕR_n) باشد.

1-Load and Resistance Factor Design Method

2- Allowable Strength Design Method

$$R_u \le \phi R_n \qquad (۱-۱)$$

در سمت چپ رابطهٔ فوق (R_u) عملاً تقاضایی است که بارهای وارده از سازه دارند و به آن مقاومت مورد نیاز (*Demand*) گفته می‌شود. منظور از مقاومت مورد نیاز در واقع همان تلاش‌های داخلی اعضاء در اثر ترکیبات بار متناظر با طراحی به روش *LRFD* می‌باشد و برای تعیین آنها از رابطهٔ زیر استفاده می‌کنیم:

$$R_u = \sum \gamma_i Q_i \qquad (۱-۲)$$

به عبارت دیگر در رابطه بالا، Q_i مقدار تلاش داخلی عضو تحت اثر هر یک از بارهایی است که به سازه اعمال می‌شود و γ_i ضرایب بار هستند که مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان تعریف می‌شوند.

سمت راست رابطهٔ کنترلی (ϕR_n) عملاً ظرفیت سازه (*capacity*) را نشان می‌دهد و به آن مقاومت طراحی گفته می‌شود. برای به دست آوردن مقاومت طراحی اعضاء ضریب کاهش مقاومت (ϕ) را در مقاومت اسمی عضو (R_n) ضرب می‌کنیم.

مقاومت اسمی سازه: در اغلب بندهای مطرح شده در مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان به دنبال نحوه محاسبهٔ پارامتر مقاومت اسمی هستیم. به عنوان مثال در فصل کشش، نحوهٔ محاسبهٔ مقاومت اسمی کششی را یاد می‌گیریم و در فصل خمش، نحوه محاسبهٔ مقاومت اسمی خمشی را خواهیم آموخت (توجه شود که شکل عمومی مقاومت اسمی یک عضو فولادی به صورت R_n می‌باشد).

دیدگاه‌های مفهومی در رابطهٔ عمومی طراحی در روش ضریب بار و مقاومت

۱ اصلی‌ترین مواردی که در مبحث طراحی به دنبال کنترل آنها هستیم، مربوط به کشش، فشار، خمش و برش می‌باشند. در این موارد رابطهٔ طراحی عملاً به شکل‌های زیر بازنویسی می‌شوند:

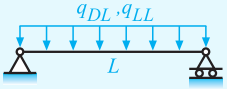
$$\underbrace{\text{مقاومت کششی اسمی}}_{T_n} \times \underbrace{\text{ضریب کاهش مقاومت کششی}}_{\phi_t} \le \underbrace{\text{نیروی کششی حداکثر عضو ناشی از بارهای ضریب‌دار}}_{T_u}$$

$$\underbrace{\text{مقاومت فشاری اسمی}}_{P_n} \times \underbrace{\text{ضریب کاهش مقاومت فشاری}}_{\phi_c} \le \underbrace{\text{نیروی فشاری حداکثر عضو ناشی از بارهای ضریب‌دار}}_{P_u}$$

$$\underbrace{\text{مقاومت خمشی اسمی}}_{M_n} \times \underbrace{\text{ضریب کاهش مقاومت در خمش}}_{\phi_b} \le \underbrace{\text{لنگر خمشی حداکثر عضو ناشی از بارهای ضریب‌دار}}_{M_u}$$

$$\underbrace{\text{مقاومت برشی اسمی}}_{V_n} \times \underbrace{\text{ضریب کاهش مقاومت در برش}}_{\phi_v} \le \underbrace{\text{نیروی برشی حداکثر عضو ناشی از بارهای ضریب‌دار}}_{V_u}$$

۲ در روابط ارائه شده، سمت چپ رابطه کنترلی از نتایج تحلیل سازه تحت اثر ترکیبات بارگذاری بدست می‌آید. به عنوان مثال در طراحی خمشی یک تیر فولادی که بار مرده وارد بر آن q_{DL} و بار زنده وارد بر آن، q_{LL} می‌باشد، سمت چپ رابطه کنترلی برابر است با:



$$\text{بار نهایی}: q_u = \gamma_{DL} \times q_{DL} + \gamma_{LL} \times q_{LL} \Rightarrow \begin{cases} \gamma_{DL} = \text{ضریب بار مرده} \\ \gamma_{LL} = \text{ضریب بار زنده} \end{cases}$$

$$M_u = M_{max} = \frac{q_u \times L^2}{8}$$

۳ در روابط ارائه شده، سمت چپ رابطهٔ کنترلی عملاً تقاضایی است که بارهای وارده از سازه دارند. یعنی مقاومت سازه از این مقدار نمی‌تواند کمتر شود و به آن **مقاومت مورد نیاز** (***Demand***) گفته می‌شود. (شکل عمومی مقاومت موردنیاز به صورت R_u می‌باشد)

۴ در روابط کنترلی فوق، سمت راست روابط، عملاً **ظرفیت سازه** (***capacity***) را نشان می‌دهد و **مقاومت طراحی** نامیده می‌شود. به عنوان مثال به حاصلضرب ضریب کاهش مقاومت فشاری در مقاومت فشاری اسمی عضو، مقاومت فشاری طراحی آن عضو گفته می‌شود. نحوهٔ محاسبهٔ مقاومت طراحی اعضای فولادی، در بندهای مختلف مبحث دهم مقررات ملی ساختمان مورد بررسی قرار می‌گیرد.

A-۵- ترکیب بارهای طراحی به روش ضریب بار و مقاومت (LRFD)

در طراحی ساختمان‌های فولادی به روش ضریب بار و مقاومت (*LRFD*)، به منظور محاسبهٔ مقاومت‌های مورد نیاز از ترکیب بارهای زیر استفاده می‌شود. به عبارتی ضرایب بارها براساس بندهای زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

۱) $1/4D$

۲) $1/2D+1/6L+0/5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

۳) $1/2D+1/6(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)+[L \text{ یا } 0/5(1/6W)]$

۴) $1/2D+1/6W+L+0/5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

۵) $1/2D+1/0E+L+0/2S$

۶) $0/9D+1/0(1/6W)$

۷) $0/9D+1/0E$

۸) $1/2D+0/5L+0/5(L_r \text{ یا } S)+1/2T$

۹) $1/2D+1/6L+1/6(L_r \text{ یا } S)+1/0T$

علائم به کار رفته در ترکیب بارهای فوق عبارتند از:

D: بار مرده — E: بار زلزله — L: بار زندهٔ طبقات به جز بام

L_r: بار زندهٔ بام — R: بار باران — S: بار برف

T: بار خود کرنشی از قبیل اثرات تغییر دما، نشست پایه‌ها و وارفتگی — W: بار باد

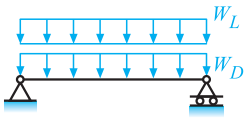
تذکر ۱: ضرایب بار مربوط به L در ترکیب بارهای ۳، ۴ و ۵ را برای کاربری‌هایی که بار گستردهٔ یکنواخت آنها کمتر از ۵ کیلونیوتن بر مترمربع (۵۰۰ کیلوگرم بر مترمربع) است، به استثناء کف پارکینگ‌ها یا محل‌های اجتماع عمومی، می‌توان برابر با ۰/۵ منظور نمود.

تذکر ۲: در شرایطی که اثر بار زنده در هر یک از ترکیب بارها کاهش‌دهنده باشد، این اثر باید معادل صفر منظور گردد.

تذکر ۳: ترکیب بارهای شماره (۸) و (۹) صرفاً در حالت‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که اثر بارهای خودکرنشی وجود داشته باشد.

در ادامه، به حل چند تمرین ساده از ترکیب بارهای ارائه شده، جهت درک بهتر مهندسین عزیز خواهیم پرداخت:

تمرین ۱: نسبت شدت بار زنده به مرده $\left(\frac{W_L}{W_D}\right)$ را طوری بیابید که در طراحی به روش ضریب بار و مقاومت، بار مرده، حاکم بر طراحی خمشی یک تیر شود؟ (از اثرات قائم زلزله صرف‌نظر می‌شود)

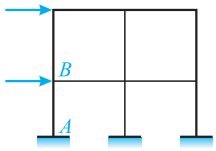


حل: در صورتی که بخواهیم بار مرده حاکم بر طراحی شود، باید شدت بار ناشی از ترکیب بار (۱) از شدت بار حاصل از بار مرده و زنده، در ترکیب بار (۲) بیشتر باشد و داریم:

$$۱/۴\,W_D > ۱/۲W_D + ۱/۶\,W_L \quad \Rightarrow \quad \frac{W_L}{W_D} < ۰/۱۲۵$$

دقت شود مطابق رابطهٔ فوق، اگر شدت بار زنده از ۱۲/۵ درصد شدت بار مرده کمتر باشد، ترکیب بار (۱) بحرانی بوده و در غیر این صورت، ترکیب بار (۲) حاکم بر طراحی خواهد بود.

تمرین ۲: به منظور کنترل بلندشدگی (*uplift*) در ستون *AB* از قاب زیر تحت اثر بارهای زلزله مطابق با روش *LRFD*، کدام‌یک از ترکیب بارهای زیر بحرانی خواهد شد؟



۱) $۱/۴D$
۲) $۱/۲D + E + L$
۳) $۰/۹D + ۱/۰E$
۴) $۱/۲D + ۱/۶L$

حل: ترکیب بار بحرانی برای کنترل بلندشدگی پی در زیر یک ستون ترکیب باری است که بیشترین نیروی کششی را در ستون تولید می‌کند که با کمی دقت ملاحظه می‌شود در ترکیب بار گزینهٔ (۳)، بار زنده که باعث ایجاد نیروی فشاری در ستون AB می‌شود حذف شده و بار مرده نیز ۱۰ درصد کاهش یافته است و در نتیجه بحرانی‌تر خواهد بود. بنابراین این گزینه، پاسخ صحیح می‌باشد.

تمرین ۳: در کنترل‌کننده‌ترین مقطع در یک تیر فولادی لنگرهای حاصل از بارهای مرده، زنده و زلزله به ترتیب $۲۰۰\,kN.m$، $۱۵۰\,kN.m$ و $\pm ۳۰۰\,kN.m$ می‌باشد. این بارها بدون ضریب بوده و محاسبات زلزله براساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ انجام گرفته است. در طراحی به روش ضریب بار و مقاومت حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز در این تیر را بیابید.

حل: با توجه به اطلاعات صورت سؤال، باید ترکیب بارهای (۱)، (۲) و (۵) که عبارتند از: $۱/۴D$، $۱/۲D + ۱/۶L$ و $۱/۲D + L + E$ برای تعیین مقاومت خمشی مورد نیاز مورد محاسبه قرار گیرند.

(۱) ترکیب بار : $M_{u_۱} = ۱/۴M_D = ۱/۴ \times ۲۰۰ = ۲۸۰\,kN.m$

(۲) ترکیب بار : $M_{u_۲} = ۱/۲\,M_D + ۱/۶\,M_L = ۱/۲ \times ۲۰۰ + ۱/۶ \times ۱۵۰ = ۴۸۰\,kN.m$

(۵) ترکیب بار : $M_{u_۵} = ۱/۲\,M_D + M_L + M_E = ۱/۲ \times ۲۰۰ + ۱۵۰ + ۳۰۰ = ۶۹۰\,kN.m$

$$M_u = max\,\{M_{u_۱}\,,\ M_{u_۲}\,,\ M_{u_۵}\} = ۶۹۰\,kN.m$$

در تمرین صفحهٔ قبل که مربوط به یک تیر فولادی است، به موارد زیر دقت شود:

۱- بار زنده از ۱۲/۵ درصد بار مرده بیشتر بوده و لذا مشخص بود که ترکیب بار (۲) از (۱) بحرانی‌تر است، بنابراین لزومی به محاسبهٔ M_{u_1} نبود.

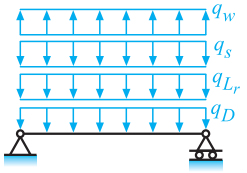
۲- در ترکیب بارهای زلزله (۵) و (۷)، فقط حالت (۵) مورد محاسبه قرار گرفت و طبق توضیحات تمرین قبل ملاحظه شد که ترکیب بار (۷) فقط برای محاسبهٔ نیروی *uplift* حالت بحرانی خواهد بود.

۳- چون نیروی زلزله رفت و برگشتی است، همواره لنگر حاصل از زلزله را با علامت لنگری که لنگرهای حاصل از بارهای مرده و زنده را تشدید کند، مورد محاسبه قرار می‌دهیم.

تمرین ۴: بر روی یک تیر دو سر ساده به طول ۸ متر مربوط به بام با پوشش سبک، بار مرده $2\ kN/m$، بار زنده $3\ kN/m$، بار برف $3\ kN/m$ و بار باد $8\ kN/m$ (مکش) محاسبه شده است. در طراحی به روش *LRFD* حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز در این تیر را بیابید.

حل: از بین ترکیبات بار ارائه شده باید مواردی را انتخاب کنیم که در آنها بارهای داده شده وجود دارند. دقت شود که ترکیب بارهای زلزله‌دار (ترکیبات ۵ و ۷) و ترکیب بارهای دارای اثرات خود کرنشی (ترکیب بارهای ۸ و ۹) ملاک نیستند. بنابراین ترکیب بارهای (۱)، (۲)، (۳)، (۴) و (۶) مورد محاسبه قرار می‌گیرند.

قبل از محاسبات این ترکیب بارها باید به دو نکته مهم توجه کرد. اول این‌که چون تیر مورد نظر مربوط به بام است، بار زنده در حقیقت بار زنده بام می‌باشد که با (L_r) نشان داده می‌شود و نباید آن را به اشتباه با (L) جایگذاری کرد. دوم این‌که بار باد به صورت مکش است و چون بارهای دیگر روی تیر، بار مرده و زنده ثقلی هستند باید برای بار باد علامت مخالفی را در نظر گرفت. به عبارتی اگر بارهای مرده و زنده دارای علامت مثبت باشند، بار باد (مکش) را باید منفی در نظر گرفت.



$$q_D = 2\ kN/m \quad , \quad q_{L_r} = 3\ kN/m$$

$$q_s = 3\ kN/m \quad , \quad q_W = -8\ kN/m$$

(۱) ترکیب بار : $q_{u_1} = 1/4\, q_D = 1/4 \times 2 = 2/8\ kN/m$

(۲) ترکیب بار : $q_{u_2} = 1/2\, q_D + 1/6\, q_L + 0/5\, max\,(q_{L_r}, q_s)$

$$\Rightarrow q_{u_2} = 1/2 \times 2 + 1/6 \times 0 + 0/5\ max\,(3,3) = 3/9\ kN/m$$

(۳) ترکیب بار: $q_{u_3} = 1/2 q_D + 1/6\ max\ (q_{L_r}, q_s) + max\ (q_L, 0/5 \times 1/6 q_w)$

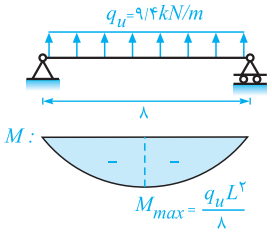
$$q_{u_3} = 1/2 \times 2 + 1/6 \times max\,(3,3) + max\,(0, 0/5 \times 1/6 \times (-8)) \Rightarrow q_{u_3} = 2/4 + 4/8 + 0 = 7/2\ kN/m$$

(۴) ترکیب بار : $q_{u_4} = 1/2 q_D + 1/6 q_W + q_L + 0/5\ max\,(q_{L_r}, q_s)$

$$\Rightarrow q_{u_4} = 1/2 \times 2 + 1/6 \times (-8) + 0 + 0/5\ max(3,3) = -8/9\ kN/m$$

(۶) ترکیب بار : $q_{u_6} = 0/9 q_D + 1/6 q_W \Rightarrow q_{u_6} = 0/9 \times 2 + 1/6(-8) = -11\ kN/m$

با توجه به محاسبات انجام گرفته، می‌توان گفت که بحرانی‌ترین حالت بارگذاری وارد بر این تیر، تحت ترکیب بار (۶) رخ می‌دهد که بار گسترده $۱۱kN/m$ به صورت مکش به تیر وارد می‌شود و حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز در این تیر به صورت زیر بدست می‌آید:



$$M_u = M_{max} = \frac{q_u L^2}{8} = \frac{-11\times 8^2}{8} = -88 kN.m$$

تمرین ۵: در یک ستون فولادی نیروی فشاری ناشی از بار زنده $700 kN$ می‌باشد. اگر مقاومت فشاری اسمی ستون $3000 kN$ باشد، با توجه به ترکیب بارهای ثقلی، حداکثر نیروی فشاری ناشی از بار مرده بر مبنای روش ضریب بار و مقاومت که می‌توان به ستون اعمال کرد چه مقدار است؟ (ضریب کاهش مقاومت عضو فشاری برابر ۰/۹ می‌باشد)

۱) $1300 kN$ ۲) $1460 kN$ ۳) $1185 kN$ ۴) $1900 kN$

حل: رابطهٔ کنترلی طراحی عضو فشاری در روش ضریب بار و مقاومت به‌صورت زیر است:

$$P_u \le \phi_c P_n \Rightarrow P_u \le 0/9\times 3000 = 2700 kN$$

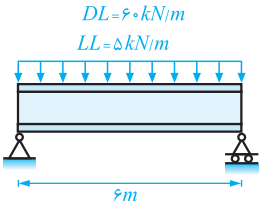
(۱) ترکیب بار: $P_u = 1/4 P_D \le 2700 kN \Rightarrow P_D \le 1928 kN$

(۲) ترکیب بار: $P_u = 1/2 P_D + 1/6 P_L = 1/2 P_D + 1/6\times 700 \le 2700 kN \Rightarrow P_D \le 1317 kN$

$$(P_D)_{max} = min\{1928, 1317\} = 1317 kN$$

بنابراین گزینهٔ (۱) پاسخ صحیح است.

تمرین ۶: در تیر فولادی شکل زیر با مقطع IPE ۴۵۰ و در طراحی به روش LRFD حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز تیر به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ از وزن تیر صرف‌نظر شود، تیر در طول خود دارای مهار جانبی کافی است. از مؤلفهٔ قائم زلزله صرف‌نظر شود. (محاسبات - بهمن ۹۷)



$$DL = 60 kN/m \quad , \quad F_y = 240 MPa$$
$$LL = 5 kN/m \quad , \quad E = 2\times 10^5 MPa$$

۱) $378 kN.m$ ۲) $360 kN.m$ ۳) $293 kN.m$ ۴) $408 kN.m$

حل: ابتدا شدت بار نهایی روی تیر را با استفاده از ترکیب بارهای (۱) و (۲) به‌صورت زیر بدست می‌آوریم:

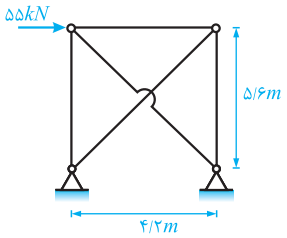
$$q_u = max\{1/4 q_D, 1/2 q_D + 1/6 q_L\}$$
$$q_u = max\{1/4\times 60, 1/2\times 60 + 1/6\times 5\} = max\{84, 80\} = 84 kN/m$$

در ادامه، لنگر حداکثر نهایی را بدست می‌آوریم:

$$M_u = \frac{q_u L^2}{8} = \frac{84\times 6^2}{8} = 378 kN.m$$

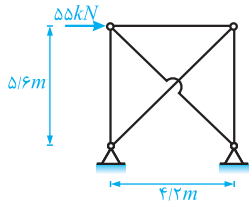
بنابراین حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز تیر ۳۷۸ کیلونیوتن متر می‌باشد و گزینهٔ (۱) صحیح است.

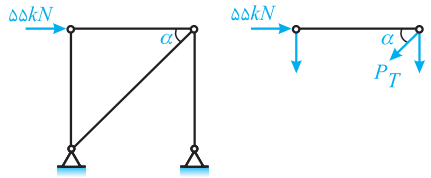
تمرین ۷: تحلیل یک سالن صنعتی نشان می‌دهد که بر قاب‌های انتهایی مهاربندی شده مطابق شکل، نیروی ۵۵ kN ناشی از تغییرات حرارتی (بدون ضریب بار) اعمال می‌شود. چنانچه مهاربندها فقط قادر به تحمل کشش باشند، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، مقاومت مورد نیاز (R_u) آنها برای این بارگذاری به کدام‌یک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر است؟ (محاسبات - مهر ۹۸)



۱) ۳۳ kN
۲) ۵۵ kN
۳) ۹۲ kN
۴) ۱۱۰ kN

حل: با فرض رفتار کششی برای مهاربندها، مهاربند فشاری را حذف کرده و نیروی مهاربند کششی را به‌دست می‌آوریم:





$$\sum F_x = 0 \Rightarrow P_T \times \cos\alpha = 55$$

$$\Rightarrow P_T = \frac{55}{\cos\alpha} = \frac{55}{\frac{4/2}{\sqrt{4/2^2 + 5/6^2}}} = 91/7\ kN$$

در ادامه، با استفاده از ترکیب بارهای شمارهٔ (۸) و (۹) با کمی دقت می‌توان فهمید که تحت اثر بارهای ناشی از تغییرات حرارتی، ترکیب بار شمارهٔ (۸) بحرانی‌تر از شمارهٔ (۹) بوده و داریم:

$$P_u = 1/2P_D + 0/5P_L + 0/5(P_{L_r} \text{ یا } P_S) + 1/2P_T \Rightarrow P_u = 1/2 \times P_T = 1/2 \times 91/7 = 110\ kN$$

بنابراین گزینهٔ (۴) پاسخ صحیح است.

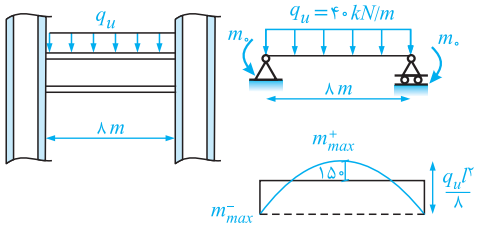
تمرین ۸: در یک قاب خمشی فولادی مهار شده براساس تحلیل سازه، لنگر خمشی مثبت در وسط دهانه برای ترکیب بارهای مرده و زنده ضریب‌دار ۱۵۰kN.m به دست آمده است. طول آزاد تیر دهانه این قاب ۸ متر و بار گسترده یکنواخت مرده و زندهٔ روی آن به ترتیب ۲۰kN/m و ۱۰kN/m می‌باشد، با فرض وجود مهار جانبی کافی برای تیر و تحمل کامل بارهای جانبی زلزله توسط مهاربندها، در طراحی به روش LRFD، حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز کدام یک از گزینه‌های زیر است؟

۱) ۲۱۰ kN.m
۲) ۷۹۰kN.m
۳) ۱۷۰kN.m
۴) ۳۲۰kN.m

حل: در این سیستم دوگانه با فرض تحمل کامل بارهای جانبی زلزله توسط مهاربندها، باید از ترکیب بار $1/2q_D + 1/6q_L$ استفاده شود.

$$q_u = 1/2q_D \times 20 + 1/6q_L = 1/2 \times 20 + 1/6 \times 10 = 40kN/m$$

در ادامه، اگر لنگرهای خمشی دو انتهای تیر را $m_{\circ}$ در نظر بگیریم که همان مقدار لنگر خمشی منفی ماکزیمم تیر می‌باشند، داریم:



از تحلیل سازه: $|m^+_{max}| + |m^-_{max}| = \frac{q_u l^۲}{۸}$

$$۱۵۰ + |m^-_{max}| = \frac{۴۰ \times ۸^۲}{۸}$$

$$\Rightarrow m^-_{max} = ۱۷۰ kN.m$$

در انتها مقاومت خمشی مورد نیاز تیر، ماکزیمم مقادیر حاصل بین m^+_{max} و m^-_{max} در طول تیر بوده و به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$m_u = max\{m^+_{max}, m^-_{max}\} = max\{۱۵۰, ۱۷۰\} = ۱۷۰ kN.m$$

بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.

A-۶- روش طراحی مقاومت مجاز (ASD)

در سال‌های اخیر در برخی از آیین‌نامه‌های طراحی، روشی معرفی شده که به نام روش طراحی مقاومت مجاز شناخته می‌شود. در این روش که فلسفه وجودی آن مشابه روش تنش مجاز در ویرایش‌های قبلی مبحث دهم است، به جای مقایسهٔ تنش‌ها، مقاومت‌ها معیار طراحی قرار می‌گیرد. در این روش از یک سو ضرایب بارها در ترکیبات بارگذاری در حد سرویس پیش‌بینی شده و از سوی دیگر مقاومت اسمی اعضا بر ضریب اطمینان تقسیم می‌شود. در طراحی به روش مقاومت مجاز (ASD) دو دسته ضرایب ایمنی به شرح زیر در تحلیل و طراحی منظور می‌گردد.

الف) ضرایب بار (γ) که از ترکیبات بار معرفی شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان برای روش طراحی مقاومت مجاز به دست می‌آیند. این ضرایب اکثراً مساوی یک و ندرتاً کوچک‌تر از یک هستند.

ب) ضرایب اطمینان (Ω) که مقادیر آن‌ها با توجه به عدم قطعیت‌های طراحی، اهمیت عضو، اتصال یا جزء سازه‌ای در فصل‌های مختلف این مبحث معرفی شده است. مقادیر Ω بین ۱/۵ تا ۲/۰ در تغییر هستند.

در طراحی به روش مقاومت مجاز، طراحی اعضاء و اتصالات و اجزای مختلف سازه‌ای باید چنان صورت گیرد که مقاومت مورد نیاز (R_a) به دست آمده از تحلیل سازه تحت اثر ترکیبات بارگذاری مربوطه، کوچکتر از مقاومت مجاز آنها $\frac{R_n}{\Omega}$ باشد.

$$R_a \le \frac{R_n}{\Omega} \qquad (۳-۱)$$

در سمت چپ رابطهٔ فوق (R_a) مقاومت مورد نیاز (تلاش داخلی) ناشی از ترکیبات متناظر با طراحی به روش مقاومت مجاز می‌باشد و از نتایج تحلیل سازه به دست می‌آید و در سمت راست رابطه، R_n مقاومت اسمی اعضاء مطابق با مبحث دهم مقررات ملی ساختمان بوده و Ω ضریب اطمینان در طراحی به روش مقاومت مجاز می‌باشد که برای حالت‌های مختلف به طور منطقی در مبحث دهم مقررات ملی تعریف شده است.

به عنوان مثال در طراحی اعضای خمشی و فشاری این ضریب برابر ۱/۶۷، در طراحی اعضای کششی برای تسلیم برابر ۱/۶۷ و برای گسیختگی برابر ۲ و برای اعضای برشی نیز برابر ۱/۶۷ می‌شود.

A-۷- ترکیب بارهای طراحی به روش مقاومت مجاز

در طراحی ساختمان‌های فولادی به روش مقاومت مجاز، از ترکیب بارهای این بند استفاده می‌شود.

۱) D
۲) $D+L$
۳) $D+(L_r$ یا S یا $R)$
۴) $D+۰/۷۵L+۰/۷۵(L_r$ یا S یا $R)$
۵) $D+W$
۶) $D+۰/۷۵L+۰/۷۵W+۰/۷۵(L_r$ یا S یا $R)$
۷) $D+۰/۷E$
۸) $D+۰/۷۵L+۰/۷۵(۰/۷E)+۰/۷۵S$
۹) $۰/۶D+W$
۱۰) $۰/۶D+۰/۷E$
۱۱) $D+T$
۱۲) $D+۰/۷۵[L+(L_r$ یا $S)+T]$

تذکر: ترکیب بارهای شماره (۱۱) و (۱۲) صرفاً در مواردی مورد استفاده قرار می‌گیرند که اثر بارهای خودکرنشی وجود داشته باشد.

تمرین ۹: در یک ستون فولادی ثقلی، نیروی فشاری ناشی از بار زنده $۷۰۰\,kN$ می‌باشد. اگر مقاومت فشاری اسمی ستون $۳۰۰۰\,kN$ باشد، حداکثر نیروی فشاری ناشی از بار مرده بر مبنای روش مقاومت مجاز که می‌توان به ستون اعمال کرد چه مقدار است؟ (ضریب اطمینان طراحی عضو فشاری برابر ۱/۶۷ می‌باشد)

۱) $۱۰۹۶\,kN$ ۲) $۱۲۸۳\,kN$ ۳) $۱۴۸۵\,kN$ ۴) $۱۷۹۶\,kN$

حل: رابطهٔ کنترلی طراحی عضو فشاری در روش ضریب بار و مقاومت به صورت زیر است:

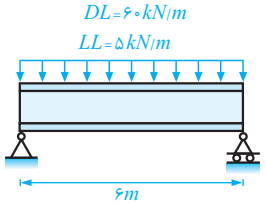
$$P_a \le \frac{P_n}{\Omega} \rightarrow P_a \le \frac{۳۰۰۰}{۱/۶۷} = ۱۷۹۶/۴\,kN$$

ترکیب بار مرده و زنده : $P_a = P_D + P_L = P_D + ۷۰۰ \le ۱۷۹۶/۴kN \Rightarrow P_D \le ۱۰۹۶/۴\,kN$

$$\Rightarrow (P_D)_{max} = ۱۰۹۶/۴\,kN \simeq ۱۰۹۶\,kN$$

بنابراین گزینهٔ (۱) پاسخ صحیح است.

تمرین ۱۰: در تیر فولادی شکل زیر با مقطع IPE ۴۵۰ و در طراحی به روش ASD حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز تیر به کدام‌یک از مقادیر زیر نزدیک است؟ از وزن تیر صرف‌نظر شود، تیر در طول خود دارای مهار جانبی کافی است. از مؤلفهٔ قائم زلزله صرف‌نظر شود.



$DL = ۶۰kN/m$, $F_y = ۲۴۰MPa$

$LL = ۵kN/m$, $E = ۲\times۱۰^۵MPa$

۱) $۳۷۸\,kN.m$ ۲) $۳۶۰\,kN.m$ ۳) $۲۹۳\,kN.m$ ۴) $۴۸۰\,kN.m$

حل: ابتدا شدت بار روی تیر را به دست می‌آوریم:

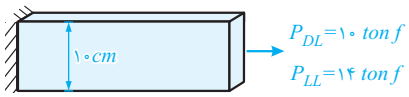
$$q_a = q_D + q_L = ۶۰ + ۵ = ۶۵\,kN/m$$

در ادامه، لنگر حداکثر مورد نیاز را به دست می‌آوریم:

$$M_a = \frac{q_a L^2}{8} = \frac{۶۵ \times ۶^2}{8} = ۲۹۲/۵\ kN.m \simeq ۲۹۳\ kN.m$$

بنابراین حداقل مقاومت خمشی مورد نیاز تیر ۲۹۳ کیلونیوتن متر می‌باشد و گزینهٔ (۳) صحیح است.

تمرین ۱۱: در تسمهٔ کششی نشان داده شده، ضخامت مورد نیاز بر اساس روش مقاومت مجاز (ASD) و روش ضرایب بار و مقاومت (LRFD) چقدر است؟ (در روش مقاومت مجاز، ضریب اطمینان ۱/۶۷ و در روش ضریب بار و مقاومت، ضریب کاهش مقاومت ۰/۹ در نظر گرفته شود و مقاومت کششی اسمی برابر $A_g F_y$ فرض شود و $F_y = ۲۴۰۰\ kgf/cm^2$)



۱) $t_{ASD}, t_{LRFD} \geq ۱/۶۷\ cm$

۲) $t_{ASD}, t_{LRFD} \geq ۱/۵۹\ cm$

۳) $t_{ASD} \geq ۱/۶۷\ cm, t_{LRFD} \geq ۱/۵۹\ cm$

۴) $t_{ASD} \geq ۱/۵۹\ cm, t_{LRFD} \geq ۱/۶۷\ cm$

حل: محاسبه ضخامت مورد نیاز بر اساس روش مقاومت مجاز:

$$P_a = P_{DL} + P_{LL} = ۱۰ + ۱۴ = ۲۴\ tonf$$

$$P_a \leq \frac{P_n}{\Omega} = \frac{A_g F_y}{\Omega} \rightarrow ۲۴ \times ۱۰^3 \leq \frac{۱۰ t \times ۲۴۰۰}{۱/۶۷} \rightarrow t_{ASD} \geq ۱/۶۷\ cm$$

محاسبه ضخامت مورد نیاز بر اساس روش ضرایب بار و مقاومت:

$$P_{u۱} = ۱/۴\ P_{DL} = ۱/۴ \times ۱۰ = ۱۴\ tonf$$

$$P_{u۲} = ۱/۲\ P_{DL} + ۱/۶\ P_{LL} = ۱/۲ \times ۱۰ + ۱/۶ \times ۱۴ = ۳۴/۴ tonf$$

$$P_u = max\ (P_{u۱}, P_{u۲}) = max\ (۱۴tonf \text{ و } ۳۴/۴\ tonf) = ۳۴/۴\ tonf$$

$$P_u \leq \phi\ P_n = \phi A_g F_y \rightarrow ۳۴/۴ \times ۱۰^3 \leq ۰/۹ \times ۱۰ t \times ۲۴۰۰ \rightarrow t_{LRFD} \geq ۱/۵۹\ cm$$

با توجه به مقادیر محاسبه شده، گزینه (۳) صحیح است.